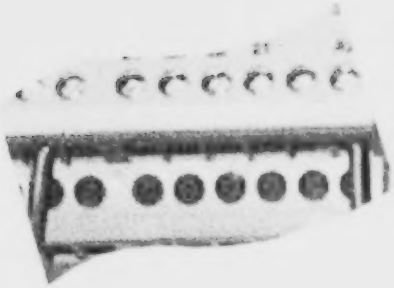
Guide de conception des circuits de sécurité

Introduction aux catégories de la norme ISO 13849-1:1999

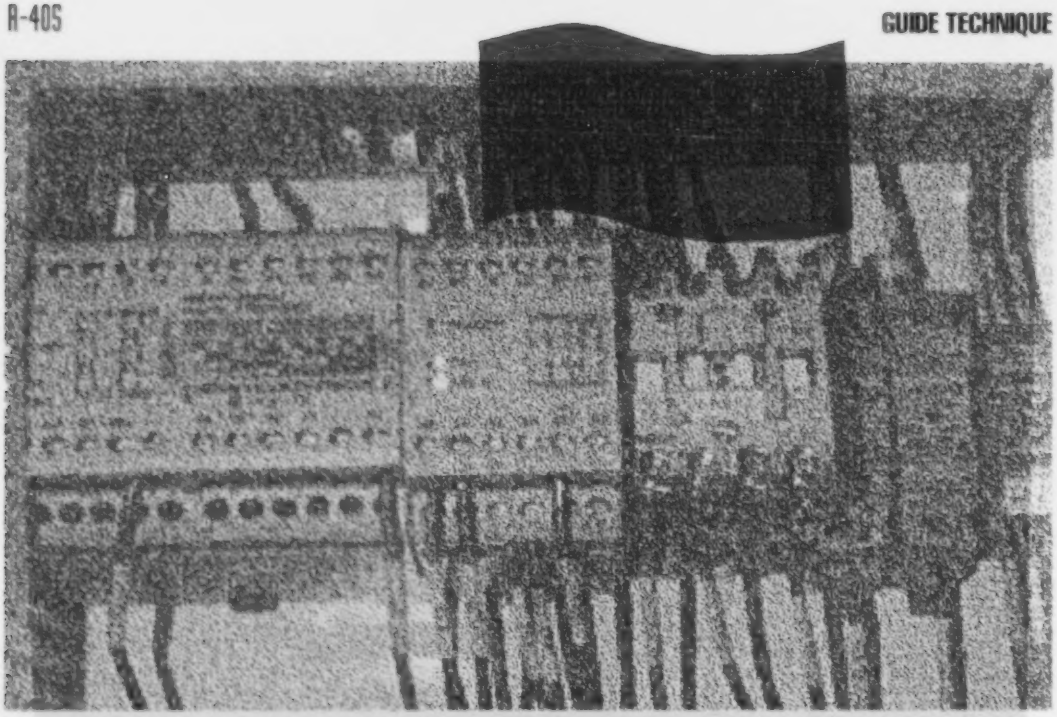


ÉTUDES ET RECHERCHES

Réal Bourbonnière
Joseph-Jean Paques
Caroline Monette
Renaud Daigle

R-405

GUIDE TECHNIQUE



irsst
ASFETM
PRÉVENTEX
MÉTAL ÉLECTRIQUE

Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

NOS RECHERCHES *travaillent* pour vous !

MISSION

- Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes.
- Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.
- Assurer la diffusion des connaissances, jouer un rôle de référence scientifique et d'expert.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission de la santé et de la sécurité du travail.

POUR EN SAVOIR PLUS...

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement.
www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par l'Institut et la CSST.
Abonnement : 1-877-221-7046

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec
2005

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1551
Télécopieur : (514) 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, juillet 2005

Guide de conception des circuits de sécurité

Introduction aux catégories de la norme ISO 13849-1:1999

Réal Bourbonnière, Joseph-Jean Paques,
Caroline Monette et Renaud Daigle

Sécurité-ingénierie, IRSST

ÉTUDES ET RECHERCHES

GUIDE TECHNIQUE

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca

Cette publication est disponible
en version PDF
sur le site Web de l'IRSST.

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail
Secteur fabrication de produits en métal et de produits électriques (ASPME)
2271, boul. Fernand-Lafontaine, bureau 301
Longueuil (Québec)
J4G 2R7
Téléphone: (450) 442-7763
Télécopieur: (450) 442-2332
http://www.aspme.org

3950, boul. de la Chaudière, bureau 110
Sainte-Foy (Québec)
G1X 4B7
Téléphone: (418) 652-7682
Télécopieur: (418) 652-9348
http://www.aspme.org

Association sectorielle paritaire
Secteur fabrication d'équipement de transport et de machines (ASFETM)
3565, Jarry Est, bureau 202
Montréal (Québec)
H1Z 4K6
Téléphone : (514) 729-6961
Sans frais : 1 888 527-3386
Télécopieur : (514) 729-8628
http://www.asfetm.qc.ca

Association paritaire de santé et de sécurité du travail
Secteur imprimerie et activités connexes
7450, boul. les Galeries d'Anjou, bureau 450
Anjou (Québec)
H1M 3M3
Téléphone : (514) 355-8282
Télécopieur : (514) 355-6818
http://www.aspimprimerie.qc.ca

Association sectorielle paritaire
Secteur textile (Préventex)
2035, avenue Victoria, bureau 203
Saint-Lambert (Québec)
J4S 1H1
Téléphone : (450) 671-6925
Télécopieur : (450) 671-9267
http://www.preventex.qc.ca

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSST

Les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

TABLE DES MATIÈRES

Page

TABLE DES MATIÈRES I

LISTE DES FIGURES III

LISTE DES TABLEAUX III

1. INTRODUCTION 1
   1.1 Remerciements 2
   1.2 Avertissements – Limites et usage du guide – Limites de responsabilité 2

2. DÉMARCHE GÉNÉRALE DE GESTION DU RISQUE 3
   2.1 L'appréciation du risque 4
      2.1.1 L'analyse du risque 4
         2.1.1.1 Détermination des limites de la machine 4
         2.1.1.2 L'identification des phénomènes dangereux 5
         2.1.1.3 L'estimation du risque 5
      2.1.2 L'évaluation du risque 8
   2.2 La réduction du risque 9
      2.2.1 Élimination du phénomène dangereux et réduction du risque 9
      2.2.2 Protecteurs et dispositifs de protection 10
         2.2.2.1 Protecteurs fixes et mobiles 10
         2.2.2.2 Dispositifs de protection 10
      2.2.3 Avertissements, méthodes de travail et équipements de protection individuelle 11
         2.2.3.1 Formation et information 11

3. LA NORME ISO 13849-1:1999 13
   3.1 L'apport de la partie du circuit de commande relative à la sécurité 13
   3.2 Démarche de la norme ISO 13849-1:1999 14
   3.3 Les catégories de la norme ISO 13849-1:1999 16
      3.3.1 Composants et système 16
   3.4 Résumé des prescriptions 17
      3.4.1 Catégorie B 17
      3.4.2 Catégorie 1 18
      3.4.3 Catégorie 2 19
      3.4.4 Catégorie 3 20
      3.4.5 Catégorie 4 21
   3.5 Le choix d'une catégorie 22
   3.6 Validation des circuits 24

4. EXEMPLES D'APPLICATION 25
   4.1 Justification du contenu 25
   4.2 Description des exemples 25
      4.2.1 Fonctionnement de la machine 26

4.2.2 Détail de la situation dangereuse considérée 26
4.2.3 Moyen de protection considéré et fonction de sécurité du système de commande 26
4.2.4 Détermination de la catégorie du système de sécurité 26
4.2.5 Schéma du circuit électrique 26
4.2.6 Fonctionnement du circuit électrique 27
4.2.7 Évaluation et validation du circuit de commande relative à la sécurité 27
4.2.8 Conclusion et recommandations 27
4.3 Exemple : 1A - Machine-outil à commande numérique
Protecteur (porte d'accès principale) équipé d'une bande sensible 28
4.4 Exemple : 1B - Convoyeur de tapis
Barrière mobile avec dispositif de verrouillage (interrupteur de position) 32
4.5 Exemple : 2A - Mélangeur chimique
Protecteur mobile avec dispositif de verrouillage (interrupteur à clé) 36
4.6 Exemple : 2B - Métier à filer
Protecteurs équipés d'un dispositif de verrouillage à faisceau optique 40
4.7 Exemple : 3A - Carde à fibres courtes
Protecteur équipé d'un dispositif d'interverrouillage avec détection d'arrêt de mouvement 44
4.8 Exemple : 3B - Presse hydraulique
Protecteur équipé d'un dispositif de verrouillage (à deux interrupteurs de position) ..48
4.9 Exemple : 4A - Machine de découpe et formage à vérins pneumatiques
Commande bimanuelle 52
4.10 Exemple : 4B - Poste d'alimentation de machine d'usinage
Barrage immatériel 56

5. ANNEXE A : LÉGENDE DES CIRCUITS ÉLECTRIQUES 61

6. ANNEXE B : DÉFINITIONS 63

7. ANNEXE C : BIBLIOGRAPHIE 69

8. ANNEXE D : OUTIL DE RECHERCHE DES FABRICANTS DE DISPOSITIFS DE PROTECTION 73

LISTE DES FIGURES

Page

Figure 1 : Démarche de la gestion du risque selon la norme ISO 12100 (version simplifiée) 3

Figure 2 : Éléments du risque (selon ISO 14121:1999) 5

Figure 3 : Graphe de risque à quatre paramètres 6

Figure 4 : Procédure pour la conception des parties de systèmes de commande relatives à la sécurité (selon la norme ISO 13849-1:1999) 15

Figure 5 : Exemple de schéma d'un circuit de catégorie 1 18

Figure 6 : Exemple de schéma d'un circuit de catégorie 2 19

Figure 7 : Exemple de schéma d'un circuit de catégorie 3 20

Figure 8 : Exemple de schéma d'un circuit de catégorie 4 21

Figure 9 : Grille de sélection des catégories selon la norme ISO 13849-1:999 23

Figure 10 : Exemple d'utilisation de la grille de sélection 24

Figure 11 : Modèle de présentation des exemples en quatre pages 26

Figure 12 : Outil de recherche des dispositifs de protection 73

Figure 13 : Exemple de données fabricant de dispositifs 74

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Comparaison des catégories de la norme ISO 13849-1:1999 22

Tableau 2 – Liste des exemples 25

105-06421/

1. INTRODUCTION

L'amélioration de la sécurité des travailleurs appelés à opérer, réparer, nettoyer et maintenir la machinerie et les procédés industriels est une préoccupation importante pour les responsables en usine. Malgré les efforts déployés par les concepteurs, des phénomènes dangereux subsistent sur la plupart des machines plaçant ainsi souvent ces travailleurs dans des situations de travail dangereuses. Plusieurs moyens de réduction du risque peuvent être utilisés et dans la hiérarchie de ces moyens, telle que proposée par la norme internationale ISO 12100[1] sur la sécurité des machines, les protecteurs mobiles et les dispositifs de protection, choisis et installés correctement, peuvent s'avérer très efficaces à l'obtention d'un niveau de sécurité tolérable.

Les parties des circuits de commande relatives à ces fonctions de sécurité doivent faire l'objet d'une conception minutieuse, décrite dans la norme ISO 13849-1:1999[2] (connue aussi sous la référence EN 954[3]). L'importance de la performance de ce circuit « de sécurité » est indéniable. On visera aussi l'atteinte des objectifs de réduction du risque tels que définis dans les prescriptions proposées dans la norme.

Ce guide est destiné aux concepteurs et en particulier aux ingénieurs œuvrant en usine ou en bureaux d'études qui conçoivent, modifient ou mettent en œuvre des systèmes de commande de machines utilisées dans les usines du Québec. La première partie présente la démarche globale de gestion du risque de la norme ISO 12100 dans laquelle se situent l'appréciation et la réduction du risque. L'application de la norme ISO 13849-1:1999 est elle-même présentée dans ce contexte. Le guide contient également huit exemples d'applications de dispositifs de protection. Les exemples ont été regroupés selon les quatre catégories de la norme ISO 13849-1:1999 à raison de deux exemples pour chacune des catégories.

La description de chacun de ces exemples comprend :

- Une photo générale de la machine;
- Une description du fonctionnement général de la machine ou de l'opération concernée et de son application;
- Le ou les risques considérés;
- Un dessin ou une photo du dispositif de protection;
- Les facteurs considérés pour la sélection de la catégorie du circuit;
- Le schéma électrique du circuit de commande proposé.
- Des commentaires sur le montage (résistance au contournement, à l'usure, etc.).

Ce document s'adresse particulièrement aux industries manufacturières (travail du métal, du plastique, des pâtes et papiers, aliments et boissons, etc.) mais il peut aussi être utilisé pour

---

[1] Norme internationale ISO 12100-1:2003, Sécurité des machines – Notions fondamentales, principes généraux de conception – Partie 1 : Terminologie de base, méthodologie. [NO-120663].

[2] Norme internationale ISO 13849-1:1999, Sécurité des machines – Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité – Partie 1 : Principes généraux de conception. [NO-121022].

[3] Norme européenne : EN 954-1, Sécurité des machines – Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité – Partie 1 : Principes généraux de conception. [NO-002262].

l'amélioration de la sécurité des machines utilisées dans d'autres secteurs tels que les commerces, les mines, les cimenteries et autres alumineries.

1.1 Remerciements

Nous tenons à remercier les personnes suivantes pour leur participation à l'élaboration de ce guide :
Annie-Claude Lefebvre, Université du Québec à Trois-Rivières
Guylaine Lacroix, GE Bromont
Sylvain Roy, Beaulieu Canada
Gilles Boivin et Sylvie Villeneuve, Préventex
André Arbour, Difco Tissus de performance
Hélène Beecroft, Lafarge
Dominic Guité, Pratt&Whitney

1.2 Avertissements – Limites et usage du guide – Limites de responsabilité

Les exemples décrits dans le présent guide ne sont donnés qu'à titre indicatif et ne sauraient être utilisés directement sans une démarche objective de la part du concepteur qui devra évaluer si les exemples proposés correspondent bien à l'utilisation prévue et permettent effectivement d'améliorer la sécurité d'une machine sans introduire de situation dangereuse du fait d'une conception erronée, d'une fabrication déficiente ou d'un usage inapproprié du moyen de réduction du risque ainsi conçu.

En aucun cas l'IRSST ne pourra être tenu responsable des conséquences de l'application des exemples proposés dans le présent guide de conception. La responsabilité de la conception de toute machine ou système de commande de machine incombe au professionnel concepteur comme le reconnaissent les lois sur les corporations professionnelles au Québec.
Les photos sont tirées d'exemples réels, mais les conditions d'utilisation ainsi que toute la documentation qui accompagne ces photos, incluant les schémas et la description sont fictives.

2. DÉMARCHE GÉNÉRALE DE GESTION DU RISQUE

Ce guide présente des exemples d'applications de protecteurs mobiles équipés de dispositifs de verrouillage ou d'interverrouillage et de dispositifs de protection. L'utilisation de ces dispositifs ne représente qu'une des étapes d'une démarche générale de gestion des risques. Cette démarche, telle que proposée par la norme ISO 12100 (voir la figure 1), est constituée de deux grandes étapes appelées « appréciation » et « réduction » du risque.

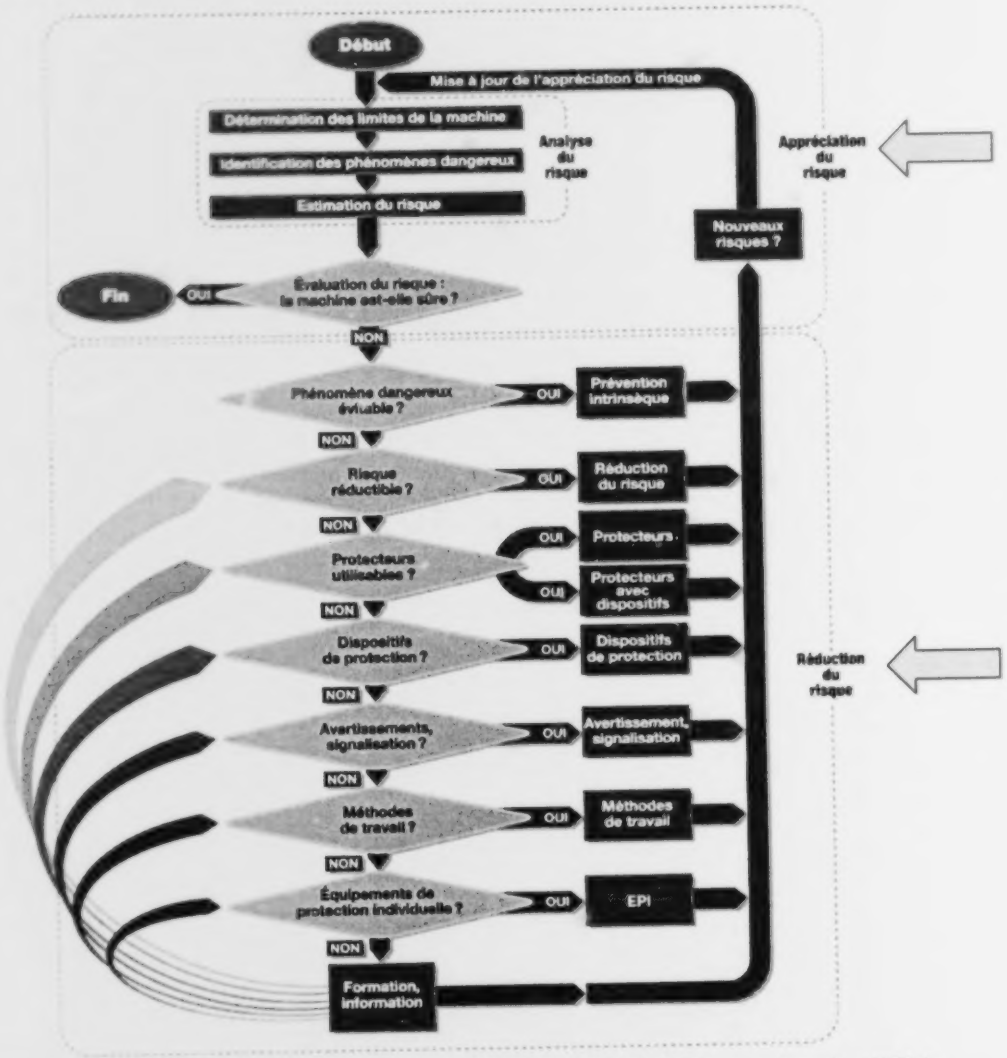


Figure 1 : Démarche de la gestion du risque selon la norme ISO 12100 (version simplifiée)

2. DÉMARCHE GÉNÉRALE DE GESTION DU RISQUE

Ce guide présente des exemples d'applications de protecteurs mobiles équipés de dispositifs de verrouillage ou d'interverrouillage et de dispositifs de protection. L'utilisation de ces dispositifs ne représente qu'une des étapes d'une démarche générale de gestion des risques. Cette démarche, telle que proposée par la norme ISO 12100 (voir la figure 1), est constituée de deux grandes étapes appelées « appréciation » et « réduction » du risque.

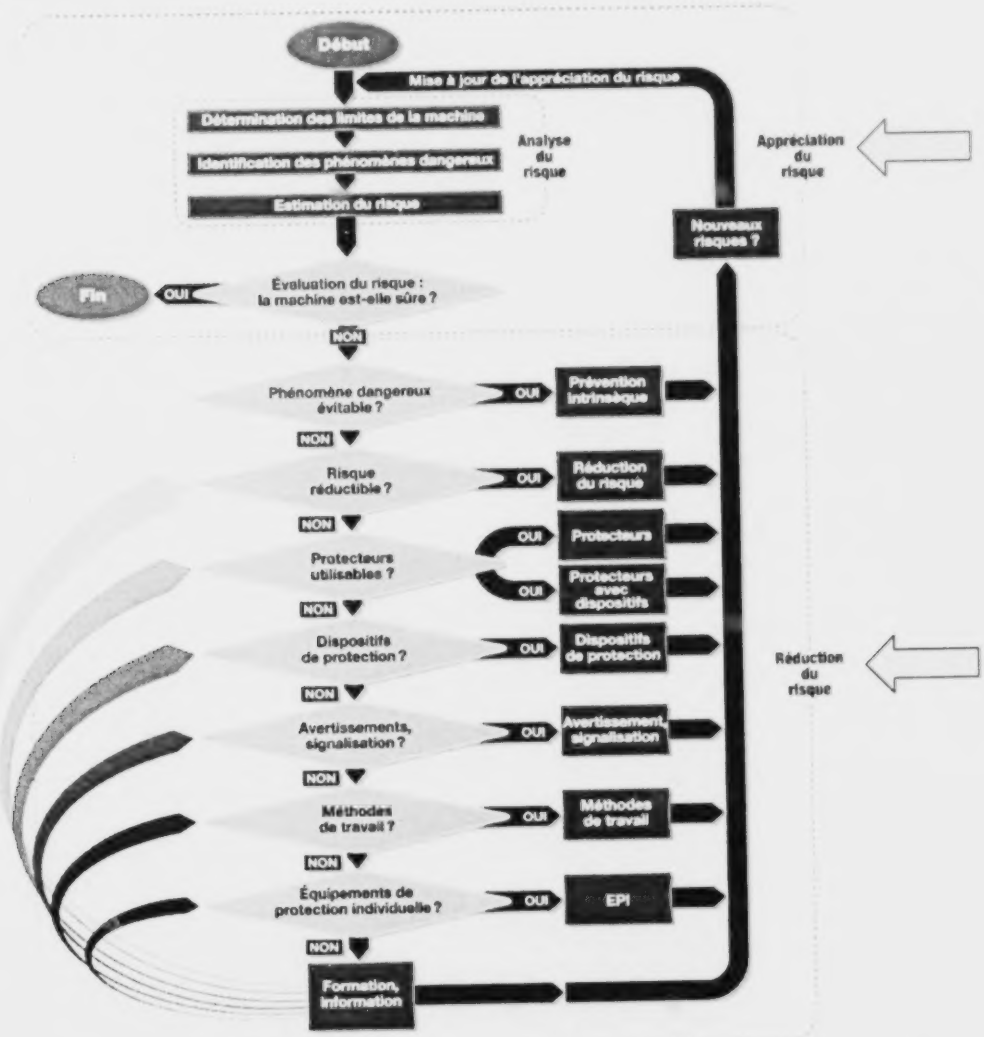


Figure 1 : Démarche de la gestion du risque selon la norme ISO 12100 (version simplifiée)

L'appréciation du risque est le préalable à toute action de décision de sélection des moyens de réduction du risque. Ces moyens, tels que ceux illustrés dans ce guide, ne pourront être considérés comme applicables à une situation particulière que si toutes les étapes ont été menées à terme. La démarche est itérative; comme suite à la sélection d'un moyen de réduction du risque, une seconde phase d'appréciation devra être réalisée. Les changements apportés par l'ajout du moyen retenu devront faire l'objet d'une analyse complète afin de s'assurer que : 1) ils ne présentent pas de nouveaux risques, 2) l'objectif de réduction a été atteint.

Le sujet de la norme internationale ISO 14121[4] porte essentiellement sur les notions de l'appréciation du risque qui comprend l'analyse et l'évaluation du risque. L'étape de réduction du risque est abordée, quant à elle, par la norme ISO 12100.

2.1 L'appréciation du risque

De façon générale, toute amélioration de la sécurité d'une machine commence par une appréciation des risques. Cette appréciation des risques associés aux machines dangereuses suit approximativement le même cheminement dans tous les documents normatifs traitant de la sécurité des machines.

Les exemples présentés dans ce guide ne peuvent servir de référence ou d'inspiration que si une telle démarche complète et exhaustive d'identification des phénomènes dangereux, d'estimation et d'évaluation des risques a déjà été effectuée pour chaque poste et situation de travail considéré.

2.1.1 L'analyse du risque

Ce que l'on nomme communément analyse du risque est décrit comme étant en fait le regroupement des trois premières étapes de l'appréciation du risque. On y trouve : la détermination des limites de la machine, l'identification des phénomènes dangereux et l'estimation du risque.

2.1.1.1 Détermination des limites de la machine

La toute première étape de la démarche de gestion du risque est celle où le concepteur doit déterminer les balises de l'appréciation du risque. À la fin de cette étape, il devra être en mesure de documenter les conditions dans lesquelles la machine sera utilisée.
C'est ici que le concepteur devra déterminer qui utilisera la machine, pour combien de temps, avec quels matériaux. On détaillera également les phases de vie de la machine, les usages prévisibles et le niveau attendu d'expérience des utilisateurs.
Ce n'est qu'une fois ces conditions déterminées que l'identification des phénomènes dangereux et l'estimation du risque peuvent débuter.

[4] Norme Internationale ISO 14121:1999 Sécurité des machines -- Principes pour l'appréciation du risque [NO-120614].

2.1.1.2 L'identification des phénomènes dangereux

Les phénomènes dangereux sont à l'origine de toutes les situations dangereuses. Exposé à un phénomène dangereux, le travailleur se trouve en situation dangereuse, et la survenance d'un événement dangereux pourrait mener à un dommage; c'est l'accident.

Il va sans dire que l'identification des phénomènes dangereux est l'une des étapes les plus importantes dans la démarche. Les phénomènes dangereux de toutes origines doivent être minutieusement répertoriés. Qu'il s'agisse de pièces en mouvement (mécanique), d'élément sous tension (électrique), de parties de machine trop chaude ou trop froide (thermique) ou de bruit ou de rayonnement à des niveaux dangereux, toutes les sources d'énergie qui peuvent porter atteinte à la santé et à la sécurité des travailleurs exposés doivent être identifiées avec soins. On associera ensuite ces phénomènes dangereux aux situations dangereuses dans lesquelles les travailleurs y sont exposés.

2.1.1.3 L'estimation du risque

L'estimation du risque consiste à établir une relation entre les différentes situations dangereuses identifiées. Une comparaison relative entre ces situations sera ensuite possible et servira, par exemple, à établir une priorité d'action.

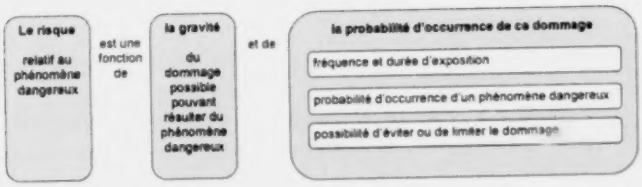


Figure 2 : Éléments du risque (selon ISO 14121:1999)

Le risque est défini comme étant la combinaison de la gravité d'un dommage et de la probabilité d'occurrence de ce dommage. Tel que l'illustre la figure 2, la norme ISO 14121 scinde les éléments de probabilité d'occurrence du dommage en trois parties : 1) la fréquence et durée d'exposition au phénomène dangereux, 2) la probabilité d'occurrence d'un événement dangereux et 3) la possibilité d'éviter ce dommage. Elle cite et décrit en détail les facteurs à considérer lors de l'estimation du risque.

Pour faciliter cette estimation, un indice de risque peut être défini. Une fois établi, cet indice établi, une comparaison globale et relative de chaque situation à risque pourra être effectuée et des actions correctives pourront être décidées sur une base objective. Le document ED807[5] de l'INRS, inspiré des notions présentées dans la norme ISO 14121, propose une plage de valeurs pour les composants du risque de façon à faciliter leur intégration dans un outil d'estimation de type graphique tel que celui illustré à la figure 3 tiré du document produit conjointement par l'IRSST et la CSST sur l'analyse du risque[6].

Dans la pratique, il est important de fixer d'avance des limites objectives aux facteurs **G**, **F**, **O** et **P** en se référant à des références existantes (ex. : pour le facteur **G**) ou en fixant des repères temporels (ex. : pour le facteur **F**). L'établissement de ces limites favorisera la relation des résultats de l'estimation des situations dangereuses qui pourront ainsi se comparer plus efficacement les uns aux autres.

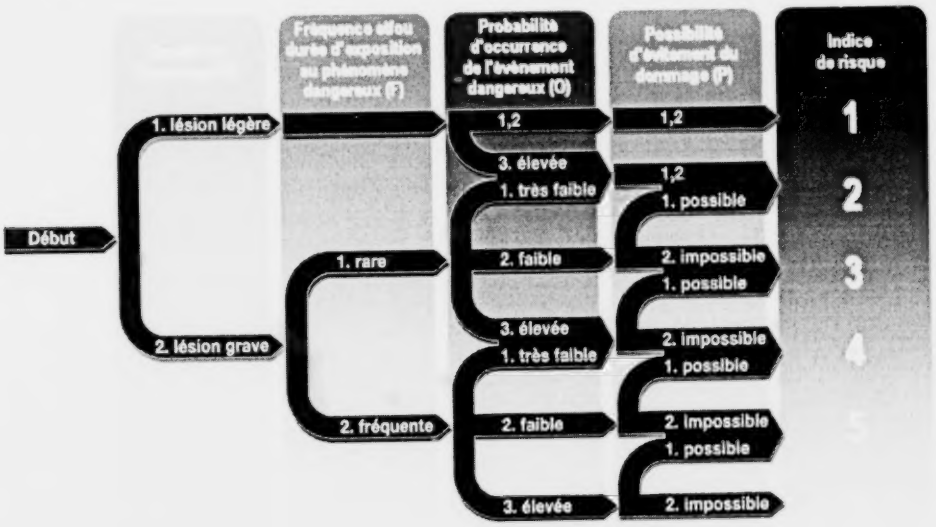


Figure 3 : Graphe de risque à quatre paramètres

[5] Sécurité des machines et des équipements de travail : moyens de protection contre les risques mécaniques. Institut national de recherche et de sécurité, ED807, 2000, [MO-127648].

[6] Sécurité des machines : phénomènes dangereux, situations dangereuses, événements dangereux, dommages., Aide-mémoire sur l'analyse du risque, CSST, DC 900-337 [CS-000837].

Pour faciliter cette estimation, un indice de risque peut être défini. Une fois établi, cet indice établi, une comparaison globale et relative de chaque situation à risque pourra être effectuée et des actions correctives pourront être décidées sur une base objective. Le document ED807[5] de l'INRS, inspiré des notions présentées dans la norme ISO 14121, propose une plage de valeurs pour les composants du risque de façon à faciliter leur intégration dans un outil d'estimation de type graphique tel que celui illustré à la figure 3 tiré du document produit conjointement par l'IRSST et la CSST sur l'analyse du risque[6].

Dans la pratique, il est important de fixer d'avance des limites objectives aux facteurs **G**, **F**, **O** et **P** en se référant à des références existantes (ex. : pour le facteur **G**) ou en fixant des repères temporels (ex. : pour le facteur **F**). L'établissement de ces limites favorisera la relation des résultats de l'estimation des situations dangereuses qui pourront ainsi se comparer plus efficacement les uns aux autres.

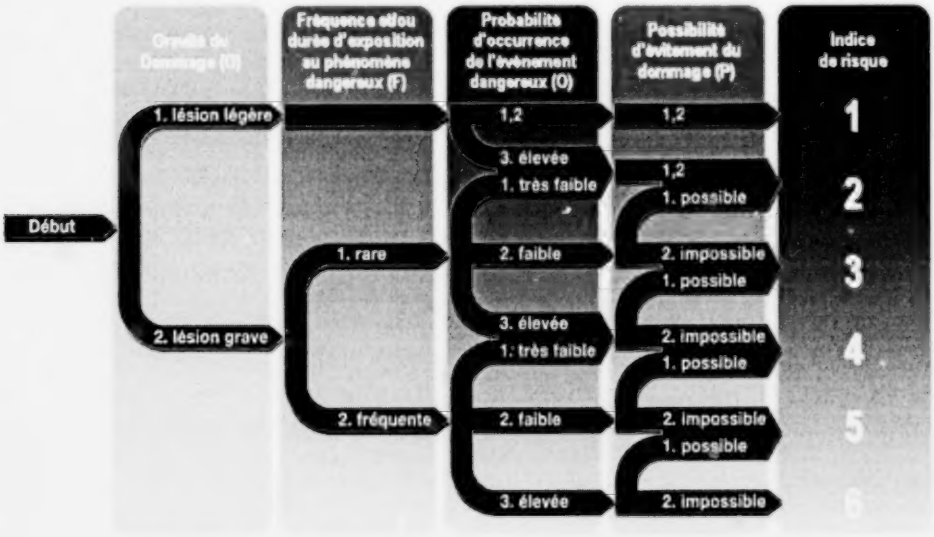


Figure 3 : Graphe de risque à quatre paramètres

[5] Sécurité des machines et des équipements de travail : moyens de protection contre les risques mécaniques, Institut national de recherche et de sécurité, ED807, 2000, [MO-127648].

[6] Sécurité des machines : phénomènes dangereux, situations dangereuses, événements dangereux, dommages., Aide-mémoire sur l'analyse du risque, CSST, DC 900-337 [CS-000837].

Gravité du dommage : G

La gravité du dommage peut être estimée en prenant en compte la gravité des lésions ou de l'atteinte à la santé. Les choix proposés sont :

G1 : Lésion légère (normalement réversible); exemples : écorchure, lacérations, bleus, blessure légère qui requiert les premiers soins, etc.

G2 : Lésion grave (normalement irréversible, y compris décès); exemples : membre brisé, arraché; blessure grave avec points de suture, décès, etc.

Fréquence et/ou durée d'exposition au phénomène dangereux : F

L'exposition peut être estimée en prenant en compte :

- Le besoin d'accès à la zone dangereuse (par exemple pour le fonctionnement normal, la maintenance ou la réparation);
- La nature de l'accès (par exemple alimentation manuelle de matières);
- Le temps passé dans la zone dangereuse;
- Le nombre de personnes devant y accéder;
- La fréquence d'accès.

Les choix proposés sont :

F1: Rare à assez fréquente et/ou courte durée d'exposition

F2: Fréquente à continue et/ou longue durée d'exposition

Probabilité d'occurrence de l'événement dangereux : O

La probabilité d'occurrence d'un événement dangereux peut être estimée en tenant compte :

- Des données de fiabilité et autres données statistiques;
- De l'historique d'accidents;
- De l'historique d'atteintes à la santé;
- D'une comparaison des risques d'une machine similaire (à condition que certaines conditions soient remplies[7]).

Les choix proposés sont :

O1 : Très faible : de très faible à faible : technologie stable, éprouvée et reconnue pour les applications de sécurité; robustesse;

O2 : Faible : de faible à moyenne : événement dangereux relié à une défaillance technique, ou bien, événement entraîné par l'action d'une personne qualifiée, expérimentée, formée, ayant une conscience du risque élevée, etc.;

O3 : Élevée : de moyenne à élevée : événement dangereux entraîné par l'action d'une personne sans expérience ou formation particulière.

[7] Voir l'article 8.3 de la norme ISO 14121 :1999.

Possibilité d'évitement du dommage : P

La possibilité d'évitement permet d'éviter ou de limiter le dommage, en fonction

- Des personnes qui exploitent la machine;
- De la rapidité d'apparition de l'événement dangereux;
- De la conscience du risque;
- De la possibilité humaine d'éviter ou de limiter le dommage (par exemple action réflexe, agilité, possibilité de fuite),

Les choix proposés sont :

P1 : Possible dans certaines conditions.

P2 : Impossible ou rarement possible.

En combinant le résultat obtenu pour les quatre paramètres, l'indice de risque est défini en utilisant le graphe de risque qui permet de définir six indices de risque (variant de 0 à 5), tels que montrés à la figure 3 (voir page 6).

2.1.2 L'évaluation du risque

La dernière étape dans le processus d'appréciation du risque consiste à porter un jugement sur le niveau de risque estimé. On doit déterminer si ce risque est tolérable ou intolérable. S'il est intolérable, des mesures de réduction du risque devront être choisies et installées. De façon à s'assurer que la solution rencontre les objectifs et ne génère aucune nouvelle situation à risque, on répétera la procédure d'appréciation en tenant compte des nouveaux moyens de réduction mis en œuvre.

Les outils d'estimation du risque, tels que celui présenté à la figure 3, sont souvent mis à contribution lors de cette étape décisionnelle. Par exemple, un indice donné de l'outil servira de limite afin de déterminer le seuil de tolérance d'une situation.

La norme ISO 14121 donne plus d'indications sur les conditions qui aideront à déterminer si l'objectif de sécurité est atteint.

2.2 La réduction du risque

Une fois l'étape de l'appréciation du risque terminée et que l'évaluation prescrit une réduction du risque (que l'on juge intolérable), le concepteur doit déterminer les moyens qu'il entend mettre en œuvre pour atteindre les objectifs de réduction du risque. La démarche proposée dans la norme ISO 12100 et illustrée à la figure 1 (voir page 3), montre les moyens de réduction du risque à privilégier selon un ordre hiérarchique d'efficacité.

Ce guide n'a pas la prétention de permettre une compréhension complète des divers moyens de réduction du risque. Il ne présente que des exemples de solutions d'ordre technique. Plus particulièrement, dans les cas où une partie du système de commande de la machine remplit des fonctions de sécurité. Que ce soit à l'aide d'un protecteur mobile équipé d'un dispositif de verrouillage ou d'interverrouillage ou à l'aide d'un dispositif de protection. Néanmoins, pour être en mesure de mieux situer les différents moyens de réduction du risque, nous décrirons sommairement les grandes familles de cette hiérarchie.

2.2.1 Élimination du phénomène dangereux et réduction du risque

À l'instar de l'article 2 de la Loi sur la santé et la sécurité du travail[8] au Québec, l'élimination du phénomène dangereux apparaît au premier rang de cette liste. Cette piste de solution préconise l'élimination du phénomène de façon à rendre la situation sécuritaire : c'est ce que l'on appelle la prévention intrinsèque. Selon l'article 4.1, la norme ISO12100-2:2003[9] :

> *« La prévention intrinsèque constitue la première et la plus importante étape de réduction du risque ... consiste à éviter les phénomènes dangereux ou à réduire les risques par un choix judicieux des caractéristiques de conception de la machine... »*

C'est donc par la conception de la machine que la sécurité du travailleur est obtenue. Le concepteur cherchera à améliorer les caractéristiques de la machine par exemple, par l'écartement entre les pièces mobiles pour éliminer les zones de coincement, par la suppression des arêtes vives, par une limitation des efforts d'entraînement ou par la limitation des masses et des vitesses des éléments mobiles.

La norme ISO12100-2:2003 donne également des prescriptions sur l'amélioration de la sécurité obtenue par une bonne conception du système de commande de la machine. Par l'utilisation de certains de ces principes, on cherchera à éviter par exemple, des mises en marche intempestives, des variations incontrôlées de la vitesse et des situations où il y a impossibilité d'arrêter l'équipement. La section 4.11 de la norme porte sur ce sujet et aborde les notions telles que le démarrage intempestif, les modes de commande, les commandes manuelles et l'autosurveillance du système de commande.

---

[8] Loi sur la santé et la sécurité du travail, L.R.Q., chapitre S-2.1, éditeur officiel du Québec.

[9] Norme internationale ISO 12100-2:2003 Sécurité des machines -- Notions fondamentales, principes généraux de conception -- Partie 2: Principes techniques, [NO-120777].

2.2.2 *Protecteurs et dispositifs de protection*

Les protecteurs, qu'ils soient fixes ou équipés de dispositifs de verrouillage ou d'interverrouillage figurent tout juste après la prévention intrinsèque en termes d'efficacité dans la hiérarchie des moyens de réduction du risque. Viennent ensuite les dispositifs de protection tels que les barrages immatériels, les tapis sensibles, les détecteurs surfaciques et autres commandes bimanuelles. Le document « Amélioration de la sécurité des machines par l'utilisation des dispositifs de protection »[10] de l'IRSST présente une introduction à l'utilisation de ces dispositifs.

2.2.2.1 Protecteurs fixes et mobiles

On considère qu'un des meilleurs moyens de réduire l'exposition au phénomène dangereux est d'en empêcher l'accès par l'installation d'un protecteur. Idéalement, celui-ci sera « fixe »; on devra utiliser un outil pour le retirer. Mais évidemment, plusieurs situations ne se prêtent pas à l'utilisation d'un tel protecteur. Il arrive très fréquemment que l'on doive ouvrir le protecteur pour avoir accès périodiquement à la zone dangereuse, par exemple, pour des besoins de production ou de dégagement.

Ces protecteurs « mobiles » devront donner un signal d'arrêt à la machine dès qu'ils sont ouverts. Si le temps d'arrêt de la machine est suffisamment court tel que le phénomène dangereux cesse avant que le travailleur ne puisse l'atteindre, un dispositif de verrouillage sera utilisé. Ce dispositif sera installé pour détecter la position du protecteur et en signaler l'ouverture. Si, par contre, le temps d'arrêt du phénomène dangereux est long, on utilisera un dispositif d'interverrouillage qui, en plus de remplir les fonctions du dispositif de verrouillage, bloquera le protecteur et empêchera son ouverture jusqu'à ce que le phénomène dangereux ait complètement disparu.

2.2.2.2 Dispositifs de protection

Si l'utilisation d'un protecteur, qu'il soit fixe ou mobile, n'est pas envisageable, on déterminera si l'utilisation d'un dispositif de protection l'est. On désigne les dispositifs de protection comme tout autre moyen de protection, autre qu'un protecteur. Il peut s'agir par exemple, d'un barrage immatériel, d'un détecteur surfacique, d'une commande bimanuelle ou d'un tapis sensible. Ces dispositifs sont conçus spécifiquement pour réduire le risque associé à une situation dangereuse.

C'est l'installation, le choix et l'utilisation de ces moyens de réduction du risque que sont les protecteurs et les dispositifs de protection sur lesquels porte en partie ce guide. La sécurité du travailleur reposant sur le bon fonctionnement de ces dispositifs, les circuits de commande qui leur sont associés devront présenter des propriétés très précises telles que celles proposées dans la norme ISO 13849-1:1999.

---

[10] Amélioration de la sécurité des machines par l'utilisation des dispositifs de protection, CSST, DC 100-1313, [CS-000771], accessible aussi à l'adresse URL suivante : http://www.irsst.qc.ca/htmfr/pdf_txt/RF-280.pdf.

2.2.3 *Avertissements, méthodes de travail et équipements de protection individuelle*

Les moyens procéduraux, les avertissements, les méthodes de travail et les équipements de protection individuelle figurent eux, aux rangs inférieurs. Bien qu'essentiels dans beaucoup de situations où aucune autre solution ne semble apporter de résultats suffisants, leur impact sur l'amélioration de la sécurité est jugé de moindre importance. Ils sont souvent utilisés en complément avec d'autres moyens de réduction du risque.

2.2.3.1 Formation et information

Dans tous les cas où le phénomène dangereux n'aura pu être éliminé ou si la réduction du risque ne suffit pas à le rendre tolérable, une formation devra être proposée aux travailleurs afin de les informer sur la nature de ce risque auquel ils sont exposés et sur les moyens de réduction choisis et installés pour y parer.

3. LA NORME ISO 13849-1:1999

Lorsque le choix des moyens de réduction des risques aura été fait et qu'il aura été décidé de réduire certains risques spécifiques à l'aide d'un dispositif de protection, le concepteur devra s'assurer de la performance des parties du circuit relatives aux fonctions de sécurité. Pour l'aider dans cette tâche, la norme ISO 13849-1:1999[11] propose des prescriptions quant aux performances attendues en cas de défauts éventuels de ces circuits, classées en cinq « catégories ». L'objectif de la norme est :

> *« ...de fournir une base claire permettant l'évaluation de la conception et des performances de toute application de parties d'un système de commande relatives à la sécurité (et de la machine), ... »*

Ces catégories, *B*, *1*, *2*, *3* et *4* définissent un comportement du circuit de commande en présence de défauts. L'apparition de certains défauts dans un circuit causera, selon la catégorie choisie, la perte ou non de la fonction de sécurité assurée par ce circuit. Selon l'évaluation du risque, cette perte de la fonction sera jugée tolérable ou non.

La démarche proposée dans la norme est une suite logique des normes ISO 12100 et ISO 14121. On considère ainsi que ce n'est que suite à une appréciation du risque menée selon les prescriptions décrites dans la norme ISO 14121 que la conception du circuit dit « de sécurité » peut commencer. Alors seulement, le concepteur pourra concevoir une solution inspirée des exemples montrés dans le présent guide de conception selon la catégorie choisie.

On doit noter que les principes de la norme s'appliquent à tous les types de circuits de commande, qu'ils fassent appel aux technologies électriques, pneumatiques, ou hydrauliques.

3.1 L'apport de la partie du circuit de commande relative à la sécurité

L'appréciation du risque devrait avoir permis d'identifier les situations dangereuses pouvant se produire sur une machine. Le niveau de risque de ces situations, s'il est considéré comme intolérable, devra être réduit par l'application d'un moyen de réduction du risque.
Si ce moyen est entièrement dépendant de l'utilisation d'un dispositif de sécurité, la performance de la partie du système de commande qui lui est rattachée devra montrer une excellente résistance aux défauts qui pourraient survenir.

Les moyens de réduction du risque qui seront choisis pour ramener le niveau de risque à un seuil tolérable pourraient aussi être multiples. Il pourrait s'agir par exemple de la combinaison d'un avertisseur sonore signalant le démarrage imminent de la machine (qui aura un impact sur la possibilité d'évitement), d'un limiteur de couple mécanique (qui permettra quant à lui de réduire

[11] Norme internationale ISO 13849-1:1999, Sécurité des machines – Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité – Partie 1 : Principes généraux de conception. [NO-121022].

la gravité du dommage) et d'un protecteur muni d'un dispositif de verrouillage (qui aura un impact sur l'exposition au phénomène dangereux).

Dans ce cas, le concepteur devra déterminer l'apport qu'aura chacun de ces moyens et plus spécifiquement de ceux qui dépendent du système de commande de la machine. L'importance de chacune de ces fonctions sera déterminée par sa contribution à la réduction du risque.

3.2 Démarche de la norme ISO 13849-1:1999

La norme propose une démarche qui se résume à cinq étapes principales :

Étape 1 : Analyse des phénomènes dangereux et appréciation du risque.
Ces deux sous-étapes correspondent au travail effectué dans le cadre de la démarche d'analyse du risque telle que décrite dans la norme ISO 14121. C'est de l'identification des phénomènes dangereux et de l'appréciation du risque dont il est question ici.

Étape 2 : Décider les mesures propres à réduire le risque au moyen du système de commande.
Dans la phase de réduction du risque, on présume ici que le choix d'un moyen technique est déjà établi. On détermine les dispositifs de protection ou les mesures de conception dont le but sera de réduire le risque. Les parties du circuit de commande ayant un impact sur la sécurité seront considérées comme faisant partie du circuit de sécurité.

Étape 3 : Spécifier les prescriptions de sécurité pour les parties du système de commande relatives à la sécurité.
C'est dans cette étape que les fonctions de sécurité et la catégorie de la partie du système de commande relative à la sécurité seront établies.

Étape 4 : Conception.

Étape 5 : Validation.

La figure 4, inspirée de la norme ISO 13849-1:1999, résume le cheminement correspondant à cette démarche.

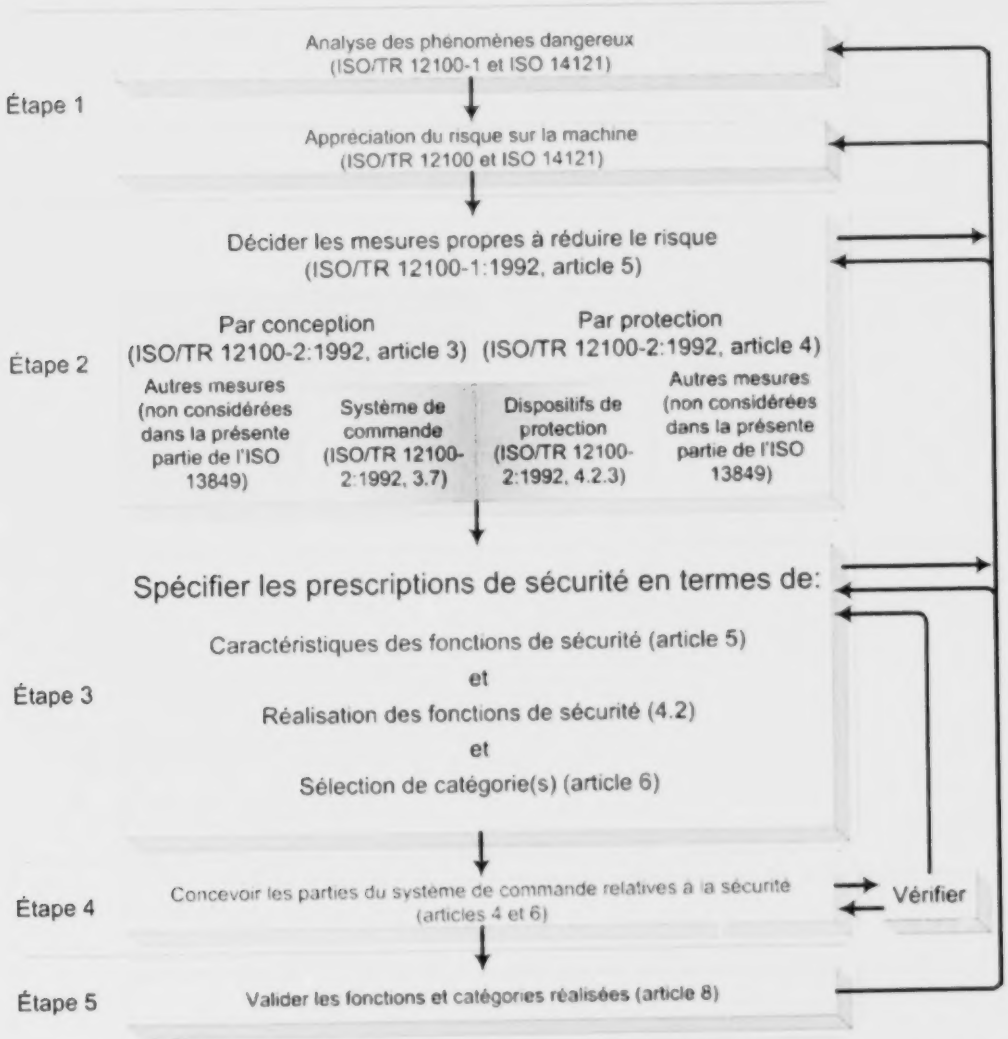


Figure 4 : Procédure pour la conception des parties de systèmes de commande relative à la sécurité (selon la norme ISO 13849-1:1999)

3.3 Les catégories de la norme ISO 13849-1:1999

La norme donne les caractéristiques propres à chacune des cinq catégories (B, 1, 2, 3 et 4). Ces catégories se distinguent principalement par le comportement attendu du circuit en réaction à l'apparition de défauts et du principe de mise en œuvre qui sera utilisé pour atteindre ces objectifs.

La première catégorie, « B », n'est que l'application des concepts d'ingénierie reconnus pour améliorer la fiabilité et la sécurité d'une installation. À l'opposé, un circuit conçu selon les prescriptions de la catégorie 4 devra résister à l'apparition de défauts de façon à ce qu'en aucun temps la sécurité ne soit compromise. Pour un concepteur, cette prescription est très exigeante. Il est assez difficile de réaliser ce genre de circuit sans l'application de techniques méthodiques.

Les performances de sécurité des catégories peuvent être formulées comme suit :

a) Les catégories 1, 2, 3 et 4 sont toutes meilleures que la catégorie B;
b) Dans les catégories B, 1 et 2, un défaut unique peut entraîner la perte de la fonction de sécurité;
c) Les catégories 3 et 4 ne seront pas mises en échec pour un défaut unique (les défauts de mode commun sont considérés comme un défaut unique);
d) La catégorie 4 a le meilleur comportement en ce qui concerne la tolérance aux défauts parce que l'accumulation de défauts est prise en considération.

3.3.1 Composants et système

Généralement, un système de commande repose sur l'utilisation de plusieurs composants. C'est l'ensemble de ces composants qui constitue le système. Établir un niveau de performance pour un système c'est donc prendre en considération l'ensemble des éléments de ce système.
La définition des catégories de la norme s'applique à un système. On ne pourrait par exemple établir qu'un élément simple tel qu'un interrupteur de position est d'une catégorie donnée. C'est plutôt son apport dans le circuit qui sera évalué et les conséquences qu'auront les défaillances qui pourraient lui être attribuées. C'est l'ensemble du circuit, le système, qui devra rencontrer les prescriptions d'une catégorie donnée.

Il faut toutefois mentionner que des composants dits de sécurité sont actuellement certifiés selon une des catégories de la norme. Ces composants, relativement complexes, sont toutefois vendus pour assurer des fonctions bien particulières dans les parties d'un circuit de commande relatives à la sécurité. Il peut s'agir par exemple de module de sécurité dont la fonction est de surveiller l'état des interrupteurs de position utilisés pour le verrouillage d'un protecteur.

3.4 Résumé des prescriptions

Un résumé des prescriptions est présenté. Pour chacune des catégories, on trouvera les prescriptions générales, le comportement attendu en présence de défauts, le principe mis en œuvre, quelques exemples d'application du principe et un exemple de circuit. Le circuit sera toujours le même : un protecteur à verrouillage. Comme la catégorie B n'est en fait jamais choisie pour une application de sécurité, elle ne comportera pas d'exemple de circuit.

3.4.1 Catégorie B

Résumé : techniques utilisant l'état de l'art.

Prescriptions : la partie du système de commande de machine relative à la sécurité et/ou ses dispositifs de protection, ainsi que ses composants doivent être conçus, fabriqués, sélectionnés, montés et combinés selon les normes pertinentes afin de pouvoir faire face aux influences attendues.

Comportement : si un défaut se produit, il peut conduire à la perte de la fonction de sécurité.

Principe de mise en œuvre : par la sélection des composants.

Exemples :

- Arrêt par coupure de l'énergie des circuits;
- Interrupteurs de fin de course avec contact à action indépendante (« snap action ») pour réduire l'usure prématurée;
- Bobines de relais et d'électrovanne reliées ensemble au côté neutre des circuits électriques;
- Utilisation de relais principal de sécurité;
- De façon générale, les composants sont adaptés à leur utilisation selon les pratiques fonctionnelles habituelles;
- Interrupteurs de position magnétique (à contacts scellés), faisceaux optiques, tapis sensibles **sans spécification particulière de sécurité.**

3.4.2 Catégorie 1

Résumé : système unique (technologies éprouvées).

Prescriptions : les exigences de B s'appliquent; de plus, on doit utiliser des composants et des principes de sécurité éprouvés.

Comportement : comme décrit dans la catégorie B, mais avec une plus grande sécurité relative à la fiabilité de la fonction de sécurité. La perte de la fonction de sécurité est possible.

Principe de mise en œuvre : par la sélection des composants.

Exemples :

- Interrupteurs de position ou de commande à contacts à ouverture forcée installés selon le principe de l'action mécanique positive;
- Vérification manuelle périodique des fonctions de sécurité; le fournisseur du système devrait indiquer la fréquence à laquelle de tels essais doivent être faits;
- Composants à panne orientée, c'est-à-dire des composants dont le mode de défaillance prédominant est connu à l'avance, et toujours le même;
- Surdimensionnement de certains composants (ex. : relais, contacteurs).

Exemple de circuit de catégorie 1 : *(Référence : Kleinbreuer, W., Kreutzkampf, F., Meffert, K., Reinert, D., BIA Report 6/97e, Categories for safety-related control systems in accordance with EN954-1, HBVG, BIA, Sankt Augustin.)*

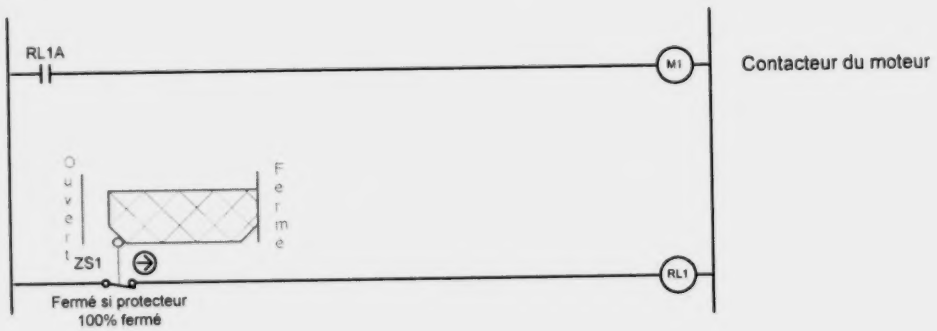


Figure 5 : Exemple de schéma d'un circuit de catégorie 1

3.4.3 Catégorie 2

Résumé : système unique avec vérification automatique.

Prescriptions : les exigences de la catégorie B et l'utilisation des principes de sécurité éprouvés doivent s'appliquer. Les fonctions de sécurité doivent être vérifiées à intervalles convenables par le système de commande de la machine.

Comportement : l'occurrence d'un défaut peut mener à la perte de la fonction de sécurité entre les intervalles de vérification; la perte de la fonction de sécurité est détectée par la vérification.

Principe de mise en œuvre : par la structure.

Exemples :

- En plus de certaines techniques mentionnées précédemment, le système de sécurité doit comporter une fonction d'autosurveillance;
- Circuits de détection de défaillance réalisés avec des contacteurs ou relais à contacts guidés.

Exemple de circuit de catégorie 2 : *(Référence : Marsot, J., Klein, R., Pagliero, D., Dei-Svaldi, D., Sécurité des machines et des équipements de travail. Circuits de commande et de puissance. Principes d'intégration des exigences de sécurité, ED913, INRS, 2003)*

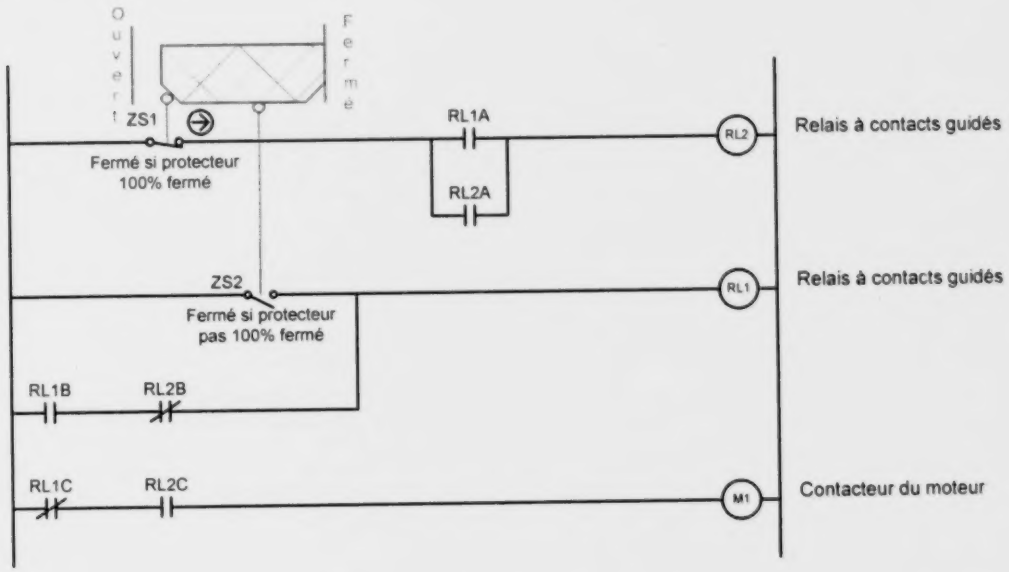


Figure 6 : Exemple de schéma d'un circuit de catégorie 2

3.4.4 Catégorie 3

Résumé : système double sans surveillance continue.

Prescriptions : les exigences de la catégorie B doivent s'appliquer. Le système de commande doit être conçu de façon à ce qu'un défaut unique de la commande ne puisse mener à la perte de la fonction de sécurité, et si cela est raisonnablement faisable, le défaut unique doit être détecté.

Comportement : lorsqu'un défaut unique se produit, la fonction de sécurité est toujours assurée; certains défauts seront détectés, mais pas tous; l'accumulation de défauts non détectés peut conduire à la perte de la fonction de sécurité.

Principe de mise en œuvre : par la structure.

Exemples :

- Redondance ou duplication des composants critiques;
- Une meilleure efficacité de la redondance est obtenue si les éléments ainsi dupliqués font appel à des technologies différentes;
- En combinant les contacts normalement ouverts et normalement fermés pour l'interverrouillage de protecteurs;
- En combinant des technologies différentes, électriques et non électriques (par exemple mécanique, hydraulique, pneumatique).

Exemple de circuit de catégorie 3 : *(Référence : Kleinbreuer, W., Kreutzkampf, F., Meffert, K., Reinert, D., BIA Report 6/97e, Categories for safety-related control systems in accordance with EN954-1, HBVG, BIA, Sankt Augustin.)*

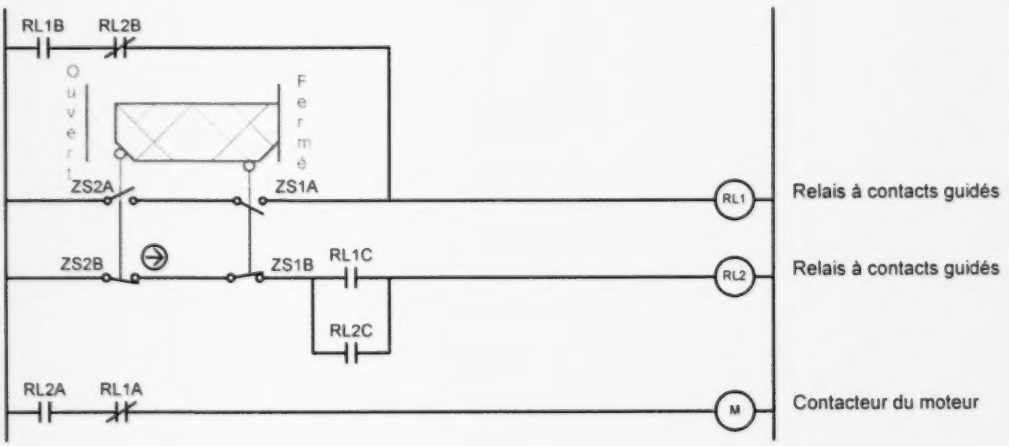


Figure 7 : Exemple de schéma d'un circuit de catégorie 3

3.4.5 Catégorie 4

Résumé : système double avec surveillance continue.

Prescriptions : les exigences de la catégorie B doivent s'appliquer. Le système de commande doit être conçu de façon à ce qu'un défaut unique de la commande ne puisse mener à la perte de la fonction de sécurité, et le défaut unique doit être détecté à, ou avant la prochaine sollicitation à la fonction de sécurité. Si cette détection n'est pas possible, une accumulation de défauts ne doit pas mener à une perte de la fonction de sécurité.

Comportement : lorsque les défauts se produisent, la fonction de sécurité est toujours assurée; les défauts seront détectés à temps pour empêcher une perte de la fonction de sécurité.

Principe de mise en œuvre : par la structure.

Exemple :

- En utilisant une combinaison des moyens technologiques précédemment décrits, tels que la redondance des composants critiques, des technologies différentes avec, en plus, une fonction d'autosurveillance continue ou quasi continue (fréquence de vérification très élevée).

Exemple de circuit de catégorie 4 : *(Référence : Kleinbreuer, W., Kreutzkampf, F., Meffert, K., Reinert, D., BIA Report 6/97e, Categories for safety-related control systems in accordance with EN954-1, HBVG, BIA, Sankt Augustin.)*

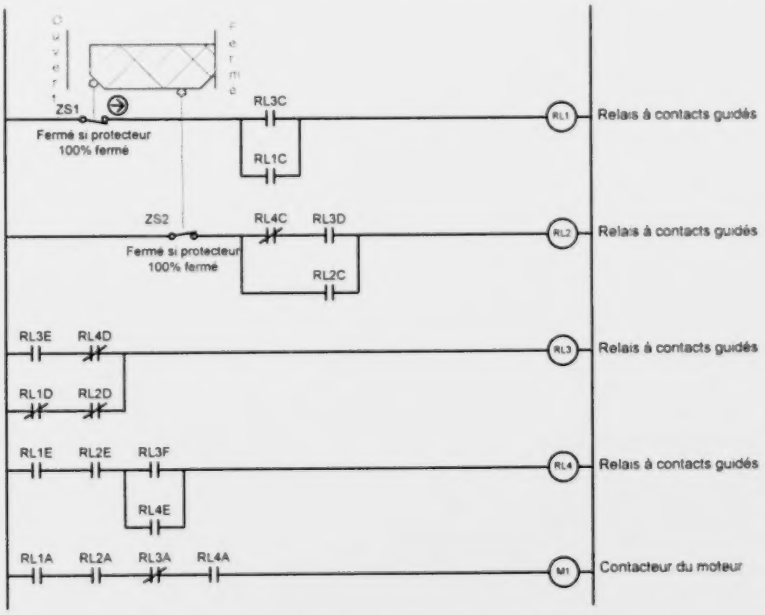


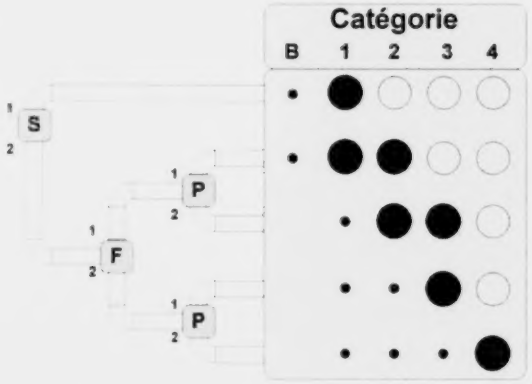
Figure 8 : Exemple de schéma d'un circuit de catégorie 4

Tableau 1 - Comparaison des catégories de la norme ISO 13849-1:1999

	Catégorie B	Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3	Catégorie 4
Règles de l'art	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Composants éprouvés	Non requis	Oui	Non requis	Non requis	Non requis
Principes de sécurité	Non requis	Oui	Oui	Oui	Oui
Surveillance ou vérification	Non requis	Manuelle périodique	Vérification automatique à intervalles	Sans surveillance continue	Surveillance continue
Perte instantanée de fonction de sécurité en cas de défaut unique	Possible	Possible	Possible si non détectée entre intervalles de vérification	Non	Non
Détection de défaut unique	Aucune	Manuelle à intervalles	Automatique à intervalles	Partielle, si raisonnable-ment faisable	À ou avant la prochaine demande
Perte de fonction de sécurité par accumulation de défauts non détectés	Possible	Possible	Possible	Possible	Non

3.5 Le choix d'une catégorie

L'annexe B de la norme ISO 13849-1:1999 propose une grille simplifiée qui permet de définir la catégorie requise pour les parties d'un système de commande relatives à la sécurité à partir de trois des facteurs d'estimation du risque appliqués aux machines. Pour l'utiliser, il s'agit d'utiliser les facteurs qui auront été déterminés dans l'estimation du risque réalisée préalablement. Ces facteurs (**G**ravité, **F**réquence et **P**ossibilité d'évitement) serviront à déterminer la catégorie du circuit de sécurité en suivant les lignes de direction de la grille.



Catégories préférentielles pour les points de référence

Catégories pouvant être surdimensionnées pour le risque en question

Catégories possibles pouvant nécessiter des mesures supplémentaires

Figure 9 : Grille de sélection des catégories selon la norme ISO 13849-1:999

La description des facteurs est la suivante :

Gravité de lésion : S *(Note : le facteur **S** utilisé dans la grille de la norme ISO 13849-1:1999 est l'équivalent du facteur **G** utilisé dans le graphe de risque de risque présenté à la* Figure 3 *(voir page 6)).*

Valeurs possibles pour le facteur **S** :

S1 : Lésion légère (normalement réversible)

S2 : Lésion grave (normalement irréversible), y compris décès

Fréquence et/ou durée d'exposition au phénomène dangereux : F

Valeurs possibles pour le facteur **F** :

P1 : Rare à assez fréquente et/ou de courte durée d'exposition

P2 : Fréquente à continue et/ou de longue durée

Possibilité d'éviter le phénomène dangereux : P

Valeurs possibles pour le facteur **P** :

P1 : Possible sous certaines conditions

P2 : Rarement possible

La grille repose donc sur l'utilisation des résultats de l'estimation du risque des situations dangereuses identifiées au début de la démarche de gestion du risque. Pour chacune des situations dangereuses identifiées, on tente de déterminer quelle sera la contribution du moyen de réduction du risque à l'amélioration de la sécurité. En utilisant les valeurs des facteurs **S**, **F** et **P**, et en les intégrant dans la grille, la norme propose ainsi des choix de solution.

Par exemple, la combinaison des facteurs **S2-F2-P1** mènera à privilégier la catégorie **3**. Il serait toutefois possible de n'utiliser que les prescriptions des catégories inférieures (**1** ou **2**) avec les

justifications adéquates. Il serait aussi possible de mettre à profit les prescriptions de la catégorie **4**, mais dans ce cas, cette mesure serait jugée superflue ou exagérée pour la situation.

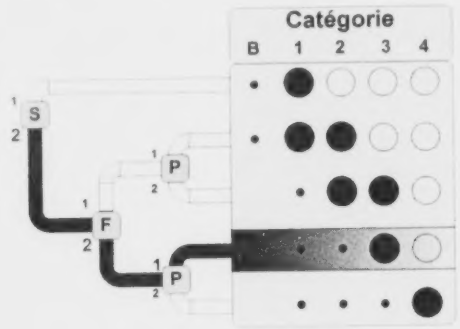


Figure 10 : Exemple d'utilisation de la grille de sélection

Même si la ressemblance avec d'autres outils d'estimation du risque est frappante, cette grille ne doit pas être utilisée pour déterminer l'indice de risque d'une situation. Contrairement aux outils d'estimation du risque, la grille présentée à l'annexe B de la norme ne tient pas compte de la probabilité d'occurrence de l'évènement dangereux; elle présume que l'événement dangereux survient. On cherche plutôt à caractériser l'impact que le circuit de sécurité aura sur la situation.

3.6 Validation des circuits

Après la conception d'un circuit de commande relatif à la sécurité, le concepteur devra s'assurer que les exigences de la catégorie choisie sont bien remplies; il s'agit alors de valider cette conception en fonction des critères définis dans la norme ISO 13849-1.

Le concepteur devra effectuer ou faire effectuer une démarche de validation pour chaque circuit de commande qui doit rencontrer des exigences de la catégorie choisie. Il pourra se référer à la partie 2 de la norme ISO 13849-1:1999[12]. Ce document présente une démarche de validation complète pour les concepteurs de circuits devant satisfaire les critères des catégories. On y trouve par exemple une liste des défauts à considérer ainsi qu'une description des étapes pour mener à bien le processus de validation; production des rapports, techniques d'analyse, essais, validation des catégories. Un rapport technique[13] produit par l'ISO pourra également aider le concepteur à mieux cerner certains aspects de l'application de la norme ISO 13849-1:1999.

---

[12] Norme internationale ISO 13849-2 :2003, Sécurité des machines -- Parties des systèmes de commande relatifs à la sécurité -- Partie 2: Validation. [NO-121021].

[13] Rapport technique ISO/TR 13849-100:2000, Sécurité des machines -- Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité -- Partie 100 : lignes directrices pour l'utilisation et l'application de l'ISO 13849-1, [NO 121020].

4. EXEMPLES D'APPLICATION

Afin d'illustrer des cas d'application de la norme, huit exemples ont été réalisés. L'objectif de ces exemples est de tenter de contextualiser les notions présentées tout au long de ce guide.

Tableau 2 – Liste des exemples

#	Catégorie	Machine	Dispositif de protection
1A	1	Machine-outil à commande numérique.	Bande sensible sur protecteur principal automatique.
1B	1	Convoyeur de tapis.	Barrière mobile équipée d'un dispositif de verrouillage (interrupteur de position).
2A	2	Mélangeur chimique.	Protecteur mobile équipé d'un dispositif de verrouillage (interrupteur à clé).
2B	2	Métier à filer.	Protecteurs équipés d'un dispositif de verrouillage (faisceau optique).
3A	3	Carde à fibres courtes.	Protecteur équipé d'un dispositif d'interverrouillage et détection des mouvements.
3B	3	Presse hydraulique.	Protecteur équipé d'un dispositif de verrouillage (deux interrupteurs de position).
4A	4	Machine de formage et de découpe.	Commande bimanuelle.
4B	4	Poste d'alimentation d'une machine d'usinage.	Barrage immatériel.

4.1 Justification du contenu

Étant donné la multitude de situations dangereuses possibles qui engendrent des niveaux de sécurité parfois fort différents d'un poste de travail à un autre et la grande diversité des solutions, nous avons fait un choix, nécessairement arbitraire, de situations et de solutions. Ces exemples sont fictifs. Les photos qui les illustrent sont réelles, mais le contexte d'utilisation et le détail des situations dangereuses sont donnés à titre d'exemples et ne pourraient être utilisés tels quels. Les exemples proviennent de secteurs d'activité variés et représentent un éventail assez large de situation de travail.

4.2 Description des exemples

Chaque exemple est présenté selon un modèle de quatre pages. Le format de présentation reste donc identique pour chacun des huit exemples. La première page montre, à l'aide d'une photo, la machine servant d'exemple et décrit la situation dangereuse qui y est considérée. Le moyen de protection choisi ainsi que la détermination de la catégorie sont présentés en page 2. Le schéma électrique du circuit est présenté en page 3 et les détails sur le fonctionnement du circuit, ses caractéristiques et la conclusion de l'exemple sont présentés en page 4.

Figure 11 : Modèle de présentation des exemples en quatre pages

4.2.1 Fonctionnement de la machine

Sous cette rubrique, on introduit le lecteur par une description du fonctionnement de la machine. Cette introduction permet de fournir les informations générales quant à l'utilisation normale de celle-ci. On y décrit le type d'équipement dont il s'agit, son utilisation en y décrivant les tâches qui y sont associées et qui seront couvertes par l'exemple.

4.2.2 Détail de la situation dangereuse considérée

Tout comme c'est le cas lors d'un travail d'appréciation du risque, cette partie des exemples décrit les caractéristiques de la situation dangereuse qui fait l'objet d'une réduction du risque. C'est un aspect important que de situer l'exemple sur certains risques particuliers qui auront été identifiés dans l'appréciation du risque. On y décrit les conditions qui serviront à déterminer les facteurs du risque. Ces mêmes facteurs seront enfin utilisés pour déterminer la catégorie du système de sécurité.

4.2.3 Moyen de protection considéré et fonction de sécurité du système de commande

Cette rubrique décrit le système de protection retenu pour réduire le risque et les informations d'ordre technique sur son fonctionnement.

4.2.4 Détermination de la catégorie du système de sécurité

À l'aide de la grille de sélection de la norme et des informations données lors de la description de la situation dangereuse, les facteurs qui composent le risque sont déterminés et on procède au choix de la catégorie du système de sécurité selon les autres informations susceptibles d'en modifier le résultat.

4.2.5 Schéma du circuit électrique

Le schéma du circuit électrique correspondant à cette installation est présenté sous cette rubrique. Les schémas reproduisent de la façon la plus réelle possible, et avec les limites qu'imposent le format et l'objectif du guide, des cas concrets où les parties du circuit de commande relatives à la sécurité sont intégrées au circuit traditionnel. Contrairement aux exemples présentés plus haut dans ce guide, on trouve dans ces schémas de circuits, le détail de l'alimentation de la machine et des accessoires nécessaires au circuit de commande.

4.2.6 Fonctionnement du circuit électrique

Les informations nécessaires pour la compréhension du fonctionnement du circuit sont décrites ici.

4.2.7 Évaluation et validation du circuit de commande relative à la sécurité

Sans prétendre à une évaluation et à une validation exhaustive du circuit présenté, on présente les critères de conception de base des catégories et la correspondance de ces critères avec le schéma proposé. Par exemple, la description des composants éprouvés utilisés, le type de vérification du circuit et son comportement en cas de défaut sont présentés.

4.2.8 Conclusion et recommandations

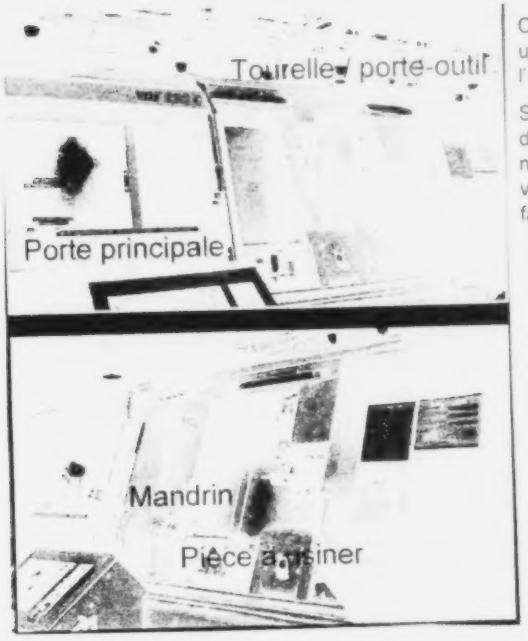
Des recommandations d'ordre général sont données à la fin de chacun des exemples.

4.3 Exemple : 1A **Catégorie : 1**

MACHINE-OUTIL À COMMANDE NUMÉRIQUE

Protecteur (porte d'accès principale) équipé d'une bande sensible

Fonctionnement de la machine



Cette machine-outil à commande numérique est utilisée dans l'industrie aéronautique. Elle sert à l'usinage de pièces diverses.

Son opération requiert une formation avancée. On doit procéder au chargement et à la fixation de la matière première, à la vérification des outils et à la vérification de la bonne marche du programme de fabrication.

Détail de la situation dangereuse considérée

De par son mode de fonctionnement cette machine présente plusieurs phénomènes dangereux : pièces en mouvement (outils, pièce en fabrication, porte-outils), projections (copeaux, huiles de coupe). Ces phénomènes dangereux doivent être pris en compte dans une démarche d'analyse complète, mais nous, nous étudierons uniquement le risque de coincement qui existe au moment de la fermeture de la porte de protection qui est actionnée par un vérin pneumatique. Une zone de coincement existe entre ces deux portes lorsqu'elles entrent en contact. Lorsque le travailleur s'affaire à l'intérieur de la zone d'usinage, il est exposé à ce phénomène dangereux. Les forces exercées par le vérin sont cependant faibles.

***Avertissement** : Un poste de travail utilisant ce type de machine ne pourra être considéré comme sécuritaire qu'après l'application complète des moyens de protection identifiés par une démarche d'appréciation du risque. Le ou les moyens de protection présentés ici ne constituent que des exemples qui doivent être adaptés à chaque contexte d'application.*

4.3 Exemple : 1A — Catégorie : 1

MACHINE-OUTIL À COMMANDE NUMÉRIQUE

Protecteur (porte d'accès principale) équipé d'une bande sensible

Fonctionnement de la machine

Cette machine-outil à commande numérique est utilisée dans l'industrie aéronautique. Elle sert à l'usinage de pièces diverses.

Son opération requiert une formation avancée. On doit procéder au chargement et à la fixation de la matière première, à la vérification des outils et à la vérification de la bonne marche du programme de fabrication.

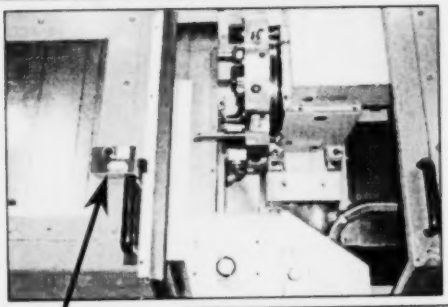
Détail de la situation dangereuse considérée

De par son mode de fonctionnement cette machine présente plusieurs phénomènes dangereux : pièces en mouvement (outils, pièce en fabrication, porte-outils), projections (copeaux, huiles de coupe). Ces phénomènes dangereux doivent être pris en compte dans une démarche d'analyse complète, mais nous, nous étudierons uniquement le risque de coincement qui existe au moment de la fermeture de la porte de protection qui est actionnée par un vérin pneumatique. Une zone de coincement existe entre ces deux portes lorsqu'elles entrent en contact. Lorsque le travailleur s'affaire à l'intérieur de la zone d'usinage, il est exposé à ce phénomène dangereux. Les forces exercées par le vérin sont cependant faibles.

***Avertissement** : Un poste de travail utilisant ce type de machine ne pourra être considéré comme sécuritaire qu'après l'application complète des moyens de protection identifiés par une démarche d'appréciation du risque. Le ou les moyens de protection présentés ici ne constituent que des exemples qui doivent être adaptés à chaque contexte d'application.*

Exemple 1A : Machine-outil à commande numérique — Catégorie : 1

Moyen de protection considéré et fonction de sécurité du système de commande



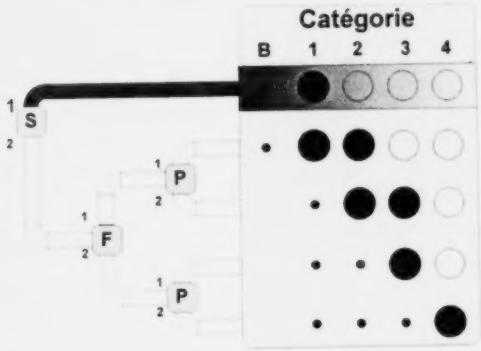
Boîtier sur lequel est monté le sélecteur de direction.

Un sélecteur est fixé sur la porte mobile. Suivant la position de ce sélecteur de direction, un vérin pneumatique relié à la porte est alimenté et la porte s'ouvre ou se referme.

Dès que le sélecteur est relâché, le mouvement de la porte cesse.

Afin d'empêcher un coincement entre la porte et la partie fixe du bâti, une bande sensible a été installée. Cette bande stoppera les mouvements de la porte dès qu'elle sera heurtée par un obstacle tel que le bras ou le corps du travailleur. Le temps d'arrêt du vérin étant très rapide, dès que l'ordre d'arrêt est donné, la distance parcourue par la porte est très courte.

Détermination de la catégorie du système de sécurité



S *(Gravité de la lésion)* : **1** (Lésion légère)

Les blessures susceptibles de se produire suite à un contact avec la porte en mouvement sont mineures (éraflures, bleus) à cause des faibles forces déployées par le vérin pneumatique.

F *(Fréquence et/ou durée d 'exposition)* : **N/A**

La fréquence n'est pas utilisée pour déterminer la catégorie.

P *(Possibilité d'évitement)* : **N/A**

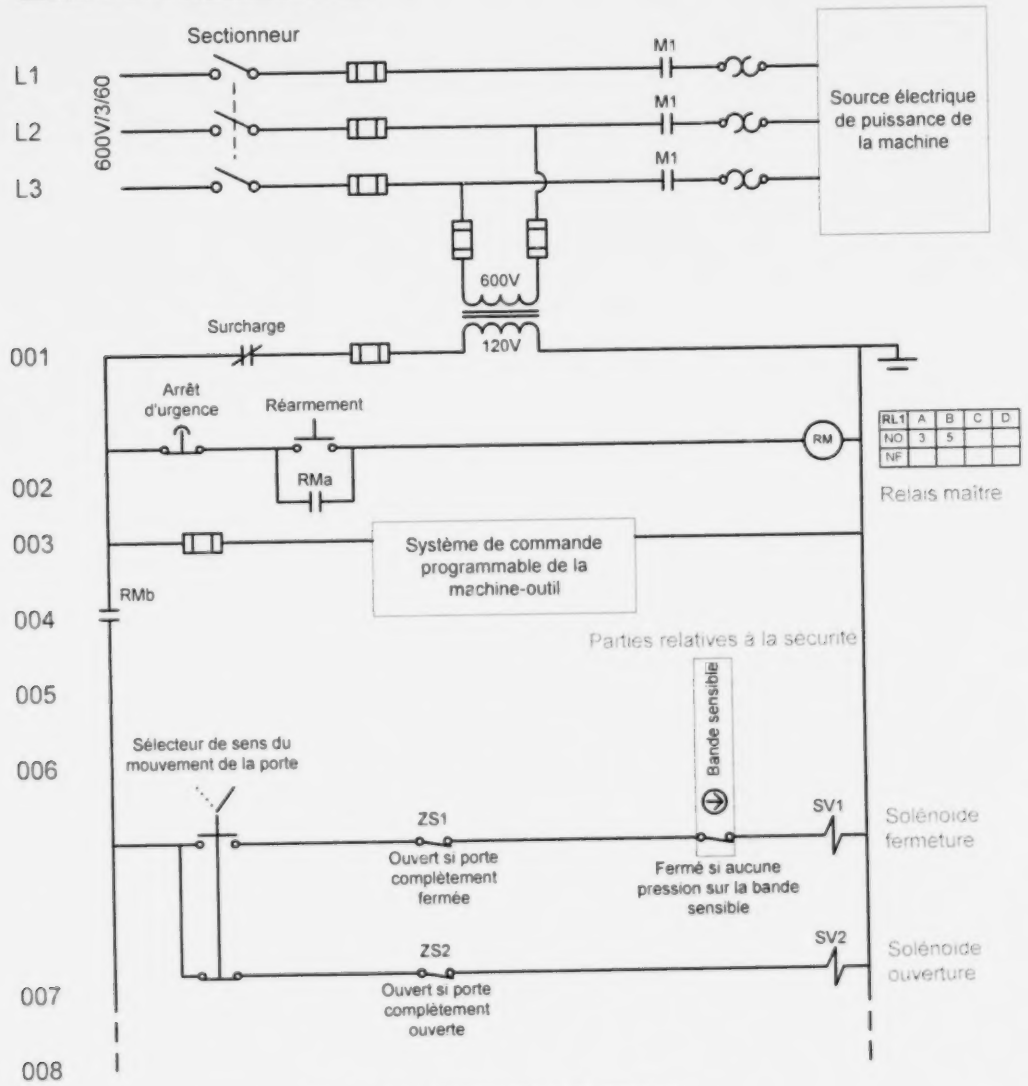
La possibilité d'évitement du dommage n'est pas utilisée pour déterminer la catégorie.

Catégorie retenue :

L'analyse du risque de cette situation montre les lésions susceptibles de survenir par le déplacement de la porte sont considérées de gravité légère. En reportant ces valeurs dans le graphe de sélection, la catégorie **1** est retenue, la fréquence d'exposition et la possibilité d'évitement n'étant pas considérées lorsque le facteur **S** est à **1**. Rappelons qu'il s'agit ici du système de sécurité visant à protéger les travailleurs d'être heurtés par les mouvements de la porte principale actionnée par un vérin pneumatique. Les situations dangereuses déterminées pour le reste de la machine ne sont pas comprises dans cette portion du système.

Exemple 1A : Machine-outil à commande numérique — Catégorie : 1

Schéma du circuit électrique



Exemple 1A : Machine-outil à commande numérique — Catégorie : 1

Fonctionnement du circuit électrique

NOTE : Cet exemple n'illustre que l'application de la bande sensible comme moyen de réduction du risque pour la situation où le travailleur est exposé au mouvement de fermeture de la porte. Les autres situations dangereuses auxquelles sont exposés les travailleurs avec cette machine ne font pas partie de cet exemple.

Les mouvements de la porte sont commandés par un un sélecteur de direction.
Pour mettre en marche la fermeture ou l'ouverture de la porte :

- Le sélecteur à trois positions non maintenues détermine le sens du mouvement (ouverture, aucun mouvement ou fermeture).
- Selon le sens choisi, les solénoïdes ***SV1*** ou ***SV2*** commandent le mouvement pneumatique par l'entremise d'un distributeur.
- Lorsque la porte est en mouvement, si le travailleur heurte la bande sensible, le contact normalement fermé de celle-ci s'ouvre et coupe l'alimentation du solénoïde de fermeture.

Caractéristiques du circuit de commande relative à la sécurité

Composants et principes de sécurité éprouvés

La bande sensible choisie est munie d'un contact à ouverture forcée. Selon ce principe mécanique, l'ouverture du contact est assurée par la pression qui sera exercée sur la bande. On s'assurera aussi que la bande couvre toute la partie de la porte pouvant causer un coincement.

Le distributeur ***SV1*** devra être à recouvrement positif. Ce type de distributeur est conçu de façon à ce que, dans la position « arrêt », aucun écoulement du fluide (air comprimé ou huile) ne soit possible entre les orifices.

Surveillance ou vérification

Pour s'assurer du bon fonctionnement du circuit relatif à la sécurité, une vérification manuelle devrait être menée périodiquement en appuyant sur la bande sensible afin de vérifier l'arrêt du mouvement de fermeture de la porte. Cette vérification assurera le bon fonctionnement de la bande sensible et du solénoïde ***SV1*** qui commande le mouvement de fermeture.

Comportement du système en cas de défaut

L'apparition d'un défaut peut conduire à la perte de la fonction de sécurité et n'est pas nécessairement détectée.

Conclusion et recommandations

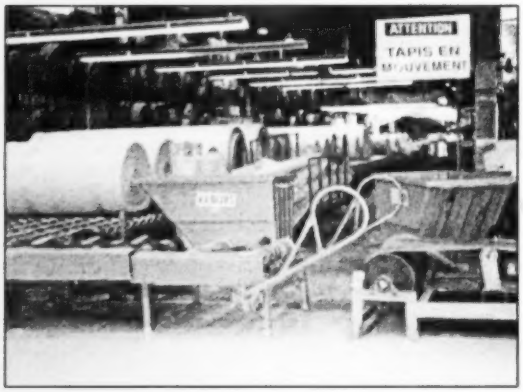
Le choix des dispositifs de sécurité et de leur technologie requiert que des vérifications périodiques de leur bon fonctionnement soient effectuées régulièrement, par exemple au début de chaque quart de travail.

4.4 Exemple : 1B — Catégorie : 1

CONVOYEUR DE TAPIS

Barrière mobile avec dispositif de verrouillage (interrupteur de position)

Fonctionnement de la machine



Ces convoyeurs se trouvent dans une entreprise spécialisée dans la fabrication de tapis. Ils servent au transport des tapis vers l'entrepôt et sont situés dans un endroit fréquenté de l'usine.

Les tapis sortant de l'enrouleuse sont déposés sur le convoyeur à courroie et acheminés vers une zone d'accumulation.

Pour rendre le passage des travailleurs à cet endroit plus sécuritaire, une barrière mobile a été installée. Cette barrière, lorsqu'elle est soulevée, interrompt le mouvement du convoyeur d'amené.

Détail de la situation dangereuse considérée

Au moment où un travailleur emprunte le passage situé entre les deux convoyeurs, il risque de se faire heurter par un tapis en mouvement. La vitesse d'avance est cependant faible et dans l'éventualité où le tapis heurterait le travailleur, le système d'entraînement du convoyeur n'exerce qu'une force limitée sur le tapis.

La nature de la charge limite aussi la gravité des lésions que pourrait encourir le travailleur dans le cas d'un contact avec le tapis en mouvement.

Avertissement *: Un poste de travail utilisant ce type de machine ne pourra être considéré comme sécuritaire qu'après l'application complète des moyens de protection identifiés par une démarche d'appréciation du risque. Le ou les moyens de protection présentés ici ne constituent que des exemples qui doivent être adaptés à chaque contexte d'application.*

Exemple 1B : Convoyeur de tapis	Catégorie : 1

Moyen de protection considéré et fonction de sécurité du système de commande

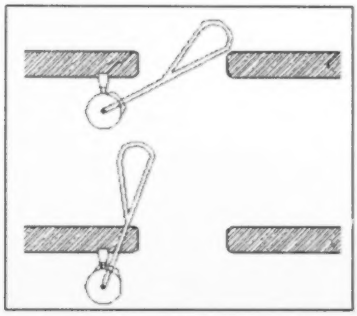
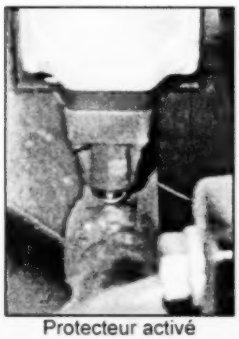
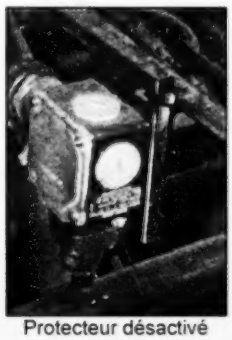


Schéma de fonctionnement de la came et de l'interrupteur



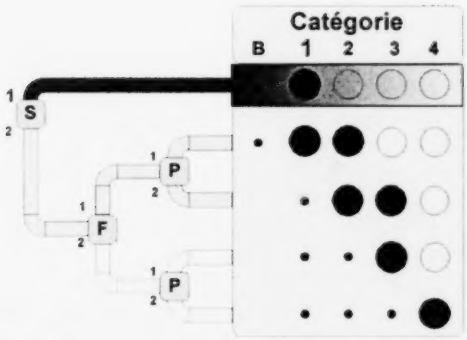
Protecteur activé (barrière relevée)



Protecteur désactivé (barrière abaissée)

Les travailleurs doivent traverser régulièrement le passage entre les deux convoyeurs. Une barrière mobile a donc été retenue comme moyen de protection. L'ouverture de la barrière provoque l'arrêt des mouvements d'avance du convoyeur. Le signal d'arrêt est obtenu par la rotation d'une came qui actionne un interrupteur et commande l'arrêt du convoyeur. Cette came a une action positive sur l'interrupteur de position à ouverture forcée.

Détermination de la catégorie du système de sécurité



S *(Gravité de la lésion)* : **1** (Lésion légère)

La vitesse et les forces exercées par le convoyeur, ainsi que le type de charge (tapis) sont les facteurs qui contribuent à déterminer une gravité faible de la lésion.

F *(Fréquence et/ou durée d 'exposition)* : **N/A**

La fréquence n'est pas utilisée pour déterminer la catégorie.

P *(Possibilité d'évitement)* : **N/A**

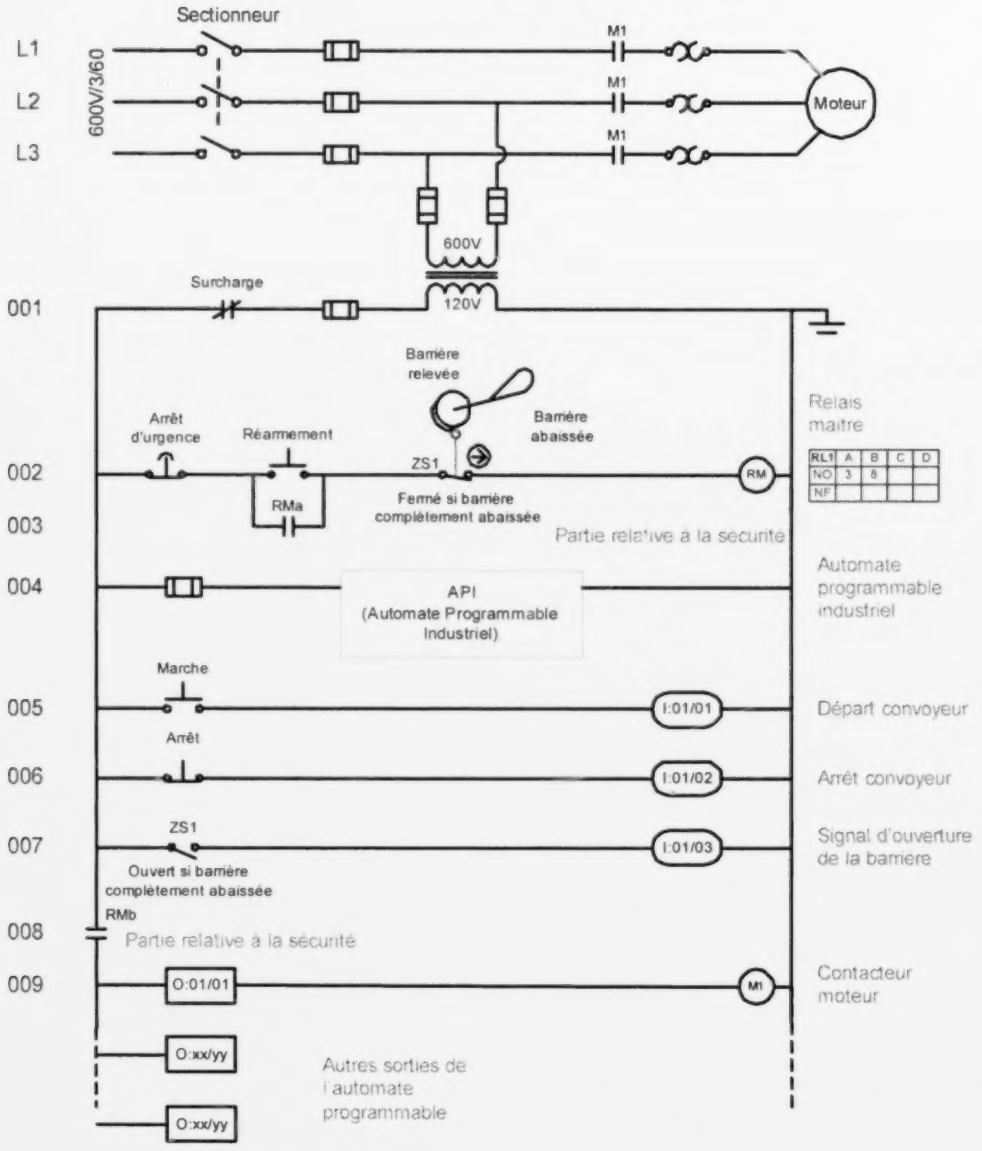
La possibilité d'évitement du dommage n'est pas utilisée pour déterminer la catégorie.

Catégorie retenue :

La sélection **S1** conduit à recommander l'utilisation d'un circuit répondant aux critères de la catégorie **1** pour le système de détection de la position de la barrière mobile.

Exemple 1B : Convoyeur de tapis	Catégorie : 1

Schéma du circuit électrique



Exemple 1B : Convoyeur de tapis	Catégorie : 1

Fonctionnement du circuit électrique

Le fonctionnement du convoyeur repose sur l'utilisation d'un circuit commandé par un automate programmable industriel (API).

- Le démarrage et l'arrêt normal du convoyeur sont commandés par les boutons de commande « Marche » et « Arrêt » reliés aux entrées de l'automate programmable.
- Lorsque la barrière est relevée, le contact normalement fermé de ***ZS1*** s'ouvre, ce qui coupe l'alimentation du relais maître ***RM1***.
- Le contact ***RMB*** s'ouvre et coupe l'alimentation des sorties de l'automate programmable entraînant la coupure de l'alimentation du contacteur ***M1*** qui commande le moteur du convoyeur.
- L'automate programmable est informé de la position de la barrière par le contact normalement ouvert de ***ZS1*** (à la ligne 7 du schéma).
- La fermeture de la barrière ne provoque pas la remise en marche du convoyeur.
- Pour remettre le convoyeur en marche, une action est nécessaire sur le bouton de réarmement.

Caractéristiques du circuit de commande relatif à la sécurité

Principes de sécurité

Un interrupteur de position électromécanique est utilisé pour détecter la position de la barrière. Cet interrupteur est muni de contacts à ouverture forcée. Le montage mécanique met à profit le principe de l'actionnement positif par l'intermédiaire d'une came qui, lorsque la barrière est relevée, provoque l'actionnement de l'interrupteur.

Surveillance ou vérification

Afin de s'assurer du bon fonctionnement du circuit relatif à la sécurité, une vérification manuelle devrait être menée périodiquement en relevant la barrière. À chacune de ces manœuvres, l'alimentation du moteur doit être coupée et le convoyeur doit cesser de fonctionner.

Comportement du système en cas de défaut

L'apparition d'un défaut peut conduire à la perte de la fonction de sécurité et n'est pas nécessairement détectée.

Conclusion et recommandations

Le contact de l'interrupteur est utilisé en aval de la sortie de l'automate programmable qui ne devrait jamais être utilisé pour remplir seul des fonctions de sécurité.

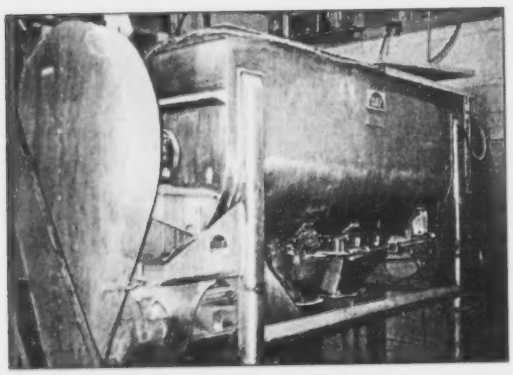
Le choix des dispositifs de sécurité et de leur technologie requiert que des vérifications périodiques de leur bon fonctionnement soient effectuées régulièrement, par exemple au début de chaque quart de travail.

4.5 Exemple : 2A **Catégorie : 2**

MÉLANGEUR CHIMIQUE

Protecteur mobile avec dispositif de verrouillage (interrupteur à clé)

Fonctionnement de la machine



Cet appareil est utilisé dans l'industrie chimique afin de mélanger les ingrédients en poudre qui entrent dans la composition d'un produit. On doit le remplir manuellement plusieurs fois par quart de travail et un nettoyage journalier est aussi nécessaire.

Les travailleurs doivent :

- Ajouter les ingrédients en vidant les sacs d'ingrédients à travers le protecteur;
- Procéder au démarrage de la machine;
- Nettoyer le mélangeur après son utilisation une fois par jour.

Détail de la situation dangereuse considérée

Le remplissage du mélangeur peut-être effectué facilement et sans contrainte en versant les ingrédients directement sur le protecteur. L'utilisation d'un protecteur fixe aurait même été envisageable. Par contre, dans la phase de nettoyage, on doit avoir accès à l'intérieur du mélangeur. Les travailleurs sont donc exposés aux mouvements potentiels du batteur dans cette phase.

Ces mouvements pourraient occasionner des blessures graves aux membres supérieurs des opérateurs ayant accès à la zone dangereuse. Les opérations de nettoyage ne sont effectuées qu'une fois par jour.

Pour les besoins de la recette, la vitesse de rotation du mélangeur est faible et offre l'avantage de ne pas créer de poussières dans l'air ambiant.

***Avertissement** : Un poste de travail utilisant ce type de machine ne pourra être considéré comme sécuritaire qu'après l'application complète des moyens de protection identifiés par une démarche d'appréciation du risque. Le ou les moyens de protection présentés ici ne constituent que des exemples qui doivent être adaptés à chaque contexte d'application.*

Exemple 2A : Mélangeur chimique	Catégorie : 2

Moyen de protection considéré et fonction de sécurité du système de commande

Protecteur en position fermée; la clé fixée au protecteur est en position dans le boîtier de l'interrupteur et permet le fonctionnement du mélangeur.

Protecteur en position ouverte; le retrait de la clé provoque l'arrêt des mouvements.

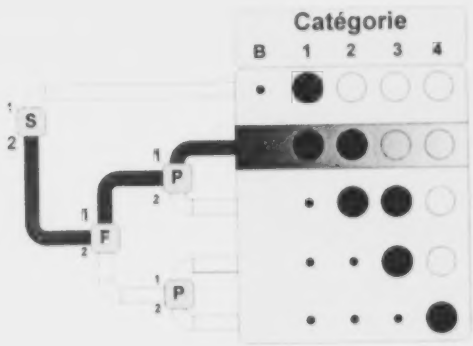
Le tamis en place fait office de protecteur en bloquant l'accès à la zone dangereuse du mélangeur.

Les ouvertures qu'il comporte sont conformes aux exigences de la normalisation.

Un interrupteur à clé a été installé de façon à détecter la position du protecteur. La clé est fixée au protecteur. En le relevant, on provoque le retrait de la clé qui y est fixée. La clé ainsi sortie de l'interrupteur provoque l'arrêt de l'appareil.

Le temps d'arrêt des mouvements est suffisamment court pour ne pas exposer les travailleurs aux mouvements du batteur une fois le protecteur relevé.

Détermination de la catégorie du système de sécurité



S *(Gravité de la lésion)* : **2** (Lésion grave)
Blessures multiples possibles par entraînement d'un membre supérieur avec les batteurs en mouvement.

F *(Fréquence et/ou durée d 'exposition)* : **1** (Rare à assez fréquente et courte durée d'exposition).

Opération de nettoyage effectuée une seule fois par jour de courte durée.

P *(Possibilité d'évitement)* : **1** (Possible sous certaines conditions).
Compte tenu de la faible vitesse de rotation, il est possible d'éviter le mouvement des batteurs.

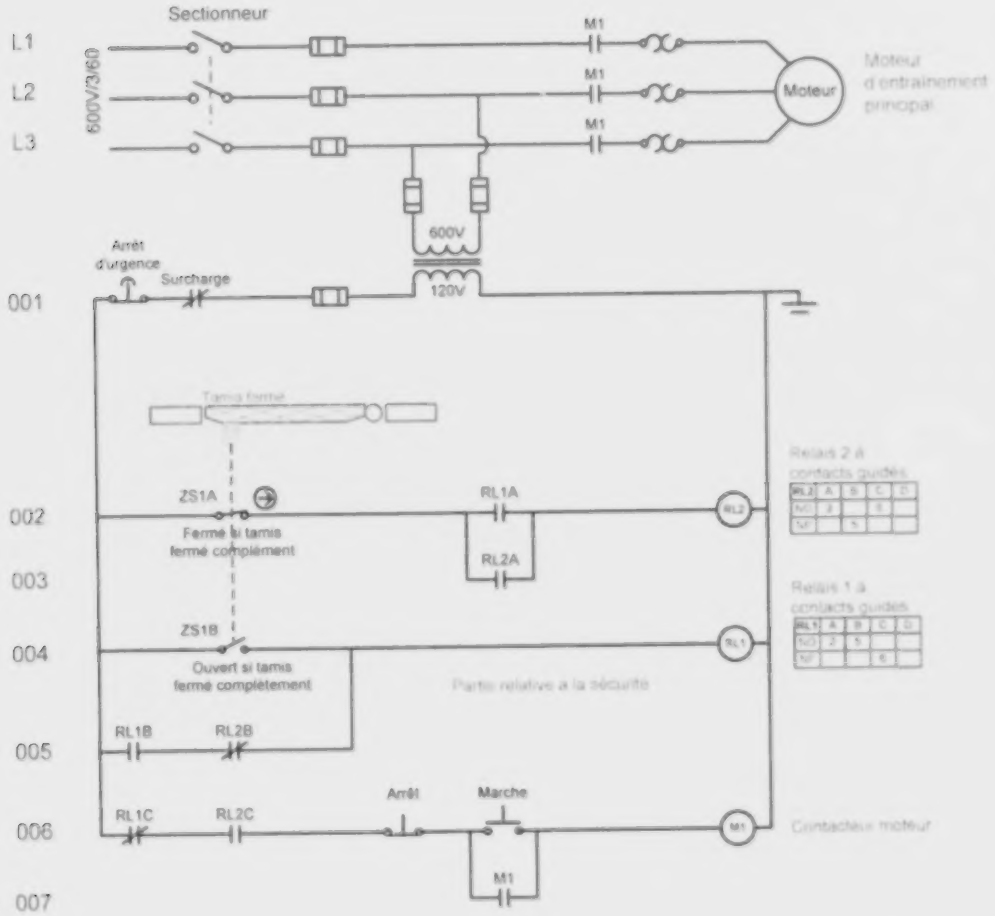
Catégorie retenue :

La combinaison **S2-F1-P1** conduit à recommander l'utilisation d'un circuit répondant aux critères de la catégorie **1** ou **2** pour le système de détection de la position du protecteur.

La catégorie **2** a été retenue en considérant que l'utilisation du protecteur constitue le seul moyen de réduction du risque installé sur cette machine. De plus, les travailleurs de cette entreprise ne reçoivent pas toute la formation souhaitable sur les risques reliés à son utilisation.

Exemple 2A : Mélangeur chimique — Catégorie : 2

Schéma du circuit électrique



Référence: Sécurité des machines et des équipements de travail, Circuits de commande et de puissance. Principes d'intégration des exigences de sécurité., ED913, INRS, 2003, page 16.

Exemple 2A : Mélangeur chimique — Catégorie : 2

Fonctionnement du circuit électrique

Pour démarrer le moteur qui entraîne la rotation du batteur :

- Le protecteur doit être fermé. Sa présence et sa position fermée sont détectées par l'insertion de la clé dans l'interrupteur ***ZS1***.
- La mise en marche du moteur ne sera possible qu'après un essai. Pour effectuer cet essai, le protecteur doit être ouvert puis refermé. Cette procédure permettra une vérification de l'état des contacts des relais ***RL1*** et ***RL2***.
- Une action sur le bouton-poussoir « marche » est nécessaire pour permettre d'alimenter le contacteur ***M1*** qui alimente le moteur.

- Le moteur est mis hors tension lorsque :
  - Le protecteur est ouvert, ce qui provoque l'ouverture du contact normalement fermé ***ZS1A***, ou la fermeture du contact normalement ouvert ***ZS1B***.
  - Ou encore, le bouton-poussoir « arrêt » est actionné.

Évaluation et validation du circuit de commande relatif à la sécurité

Principes de sécurité

L'utilisation d'un interrupteur à clé a été retenue. Cet interrupteur est muni de contacts à ouverture forcée. On s'assurera que l'installation respecte les recommandations définies par le fabricant, par exemple, que l'interrupteur ne sert pas de butée mécanique.

Les relais ***RL1*** et ***RL2*** sont à contacts guidés. Ces relais sont conçus de façon à ce qu'un collage d'un des contacts normalement ouverts empêche la fermeture des contacts normalement fermés du même relais au moment de sa mise sous tension. Cette caractéristique permet d'effectuer le cycle de vérification à l'ouverture du protecteur.

Surveillance ou vérification

Afin de s'assurer du bon fonctionnement du circuit relatif à la sécurité, la vérification manuelle devra être menée en ouvrant le protecteur. Le démarrage du moteur par l'action sur le bouton « marche » indiquera que le circuit est en état de marche.

Comportement du système en cas de défaut

L'apparition d'un défaut peut conduire à la perte de la fonction de sécurité et n'est pas nécessairement détectée.

Conclusion et recommandations

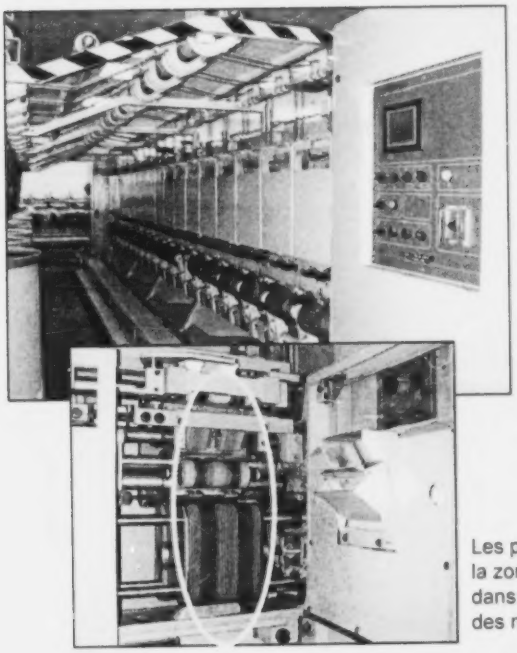
Le choix des relais à contacts guidés revêt une importance particulière. Dans l'éventualité où un de ces relais serait remplacé par un modèle normal, le cycle de vérification ne serait d'aucune utilité. Des éléments du circuit pourraient devenir défaillants sans que cette condition soit détectée. La sécurité de l'installation pourrait en être affectée. L'installation de l'interrupteur à clé devra être réalisée de façon méticuleuse afin de réduire les possibilités de défaillance de cet élément important.

4.6 Exemple : 2B — Catégorie : 2

MÉTIER À FILER

Protecteurs équipés d'un dispositif de verrouillage à faisceau optique

Fonctionnement de la machine



Ce métier à filer sert à fabriquer en continu une mèche de fibres synthétiques; cette mèche sera reprise dans une autre machine qui la transformera en fil et l'embobinera. De fabrication récente, cette machine est très automatisée et est commandée par un automate programmable industriel.

Son fonctionnement en continu ne nécessite qu'une supervision partielle.

Les portes situées sur le devant donnent accès à la zone d'entraînement du fil. Les interventions dans cette zone se limitent au cas de vérification des mécanismes d'entraînement et de nettoyage.

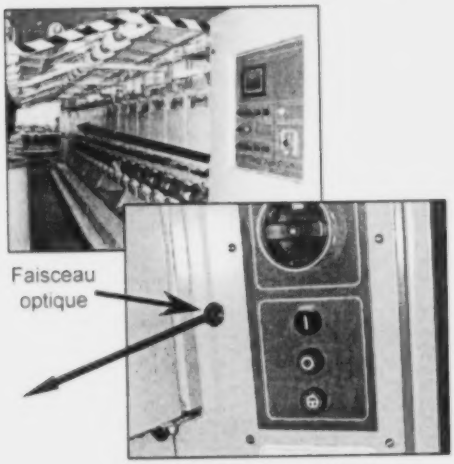
Détail de la situation dangereuse considérée

La zone dangereuse de cette machine se situe au niveau des entraînements. C'est là que s'y trouvent les courroies et rouleaux qui entraînent la mèche de fibres pour la fabrication du fil. Un coincement d'une main ou d'un doigt dans ces parties de la machine provoquerait des lésions sérieuses. Les interventions de vérification ou de nettoyage dans cette zone sont rares. Au démarrage, les vitesses de rotation sont lentes afin d'éviter le bris de la mèche de fibres. Ce démarrage est également précédé d'un avertissement sonore d'une durée de trois secondes.

***Avertissement** : Un poste de travail utilisant ce type de machine ne pourra être considéré comme sécuritaire qu'après l'application complète des moyens de prévention identifiés par une analyse de risque exhaustive. Le ou les moyens de protection présentés ici ne constituent que des exemples qui doivent être adaptés à chaque contexte d'application.*

Exemple 2B : Métier à filer — Catégorie : 2

Moyen de protection considéré et fonction de sécurité du système de commande



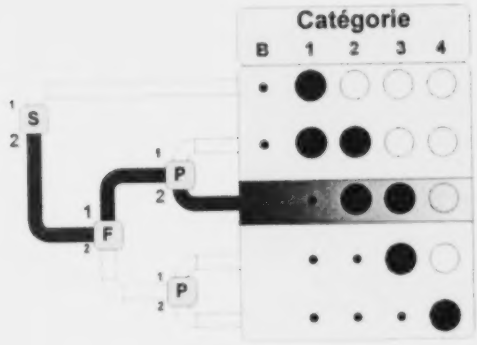
Détail du faisceau optique

Les portes installées sur le devant de la machine donnent accès aux zones d'entraînement de la machine, là où se trouvent les rouleaux et courroies.

Afin de s'assurer que toutes les portes sont fermées, un faisceau optique est installé de façon à détecter l'ouverture d'une de ces portes.

Lorsque le faisceau est coupé par l'ouverture d'une des portes, un ordre d'arrêt est donné au moteur d'entraînement de la machine.

Détermination de la catégorie du système de sécurité



S *(Gravité de la lésion)* : **2** (Lésion grave)

Les angles rentrants crées par les rouleaux et courroies peuvent provoquer des lésions graves.

F *(Fréquence et/ou durée d 'exposition)* : **1** (Rare à assez fréquent et/ou courte durée d'exposition).

Les interventions dans cette zone de la machine sont peu fréquentes et de très courtes durées.

P *(Possibilité d'évitement)* : **2** (Rarement possible)

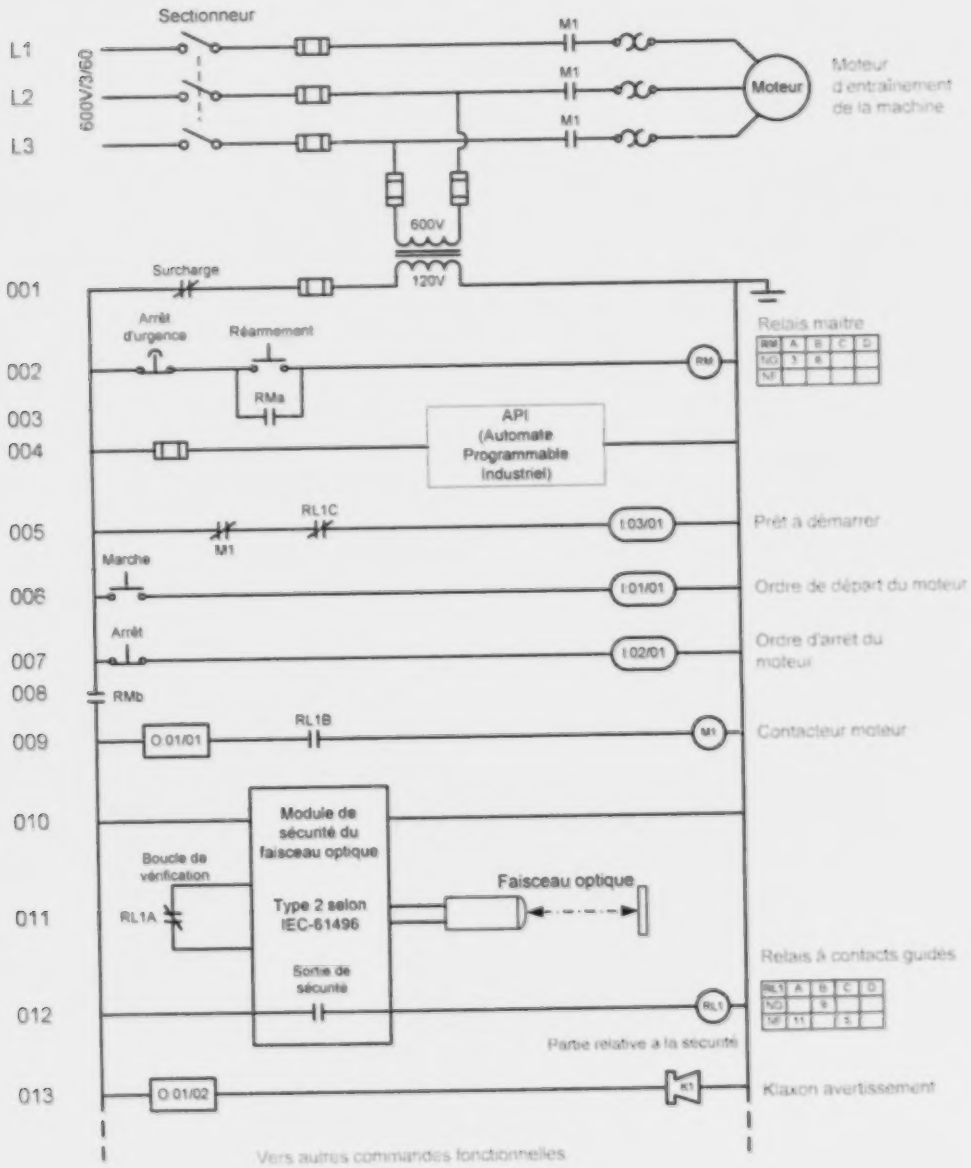
Il serait assez difficile pour le travailleur de retirer sa main de la zone dangereuse suffisamment rapidement pour éviter le phénomène dangereux ou réduire le dommage.

Catégorie retenue :

La combinaison **S2-F1-P2** conduit à recommander l'utilisation d'un circuit répondant aux critères de la catégorie **2** ou **3** pour le système de détection d'ouverture des portes par faisceau optique. Compte tenu de la présence d'un signal d'avertissement de trois secondes qui avise le travailleur d'un démarrage imminent, il lui est possible de retirer sa main de la zone dangereuse suffisamment rapidement pour éviter ou réduire le dommage. Pour ces raisons, la contribution de cette partie du circuit de commande relative à la sécurité peut donc être ramenée à la catégorie **2**.

Exemple 2B : Métier à filer	Catégorie : 2

Schéma du circuit électrique



Exemple 2B : Métier à filer	Catégorie : 2

Fonctionnement du circuit électrique

La mise en marche du moteur qui entraîne le mécanisme de la machine a lieu si :

- Les portes de la machine ont toutes été refermées et ne présentent pas d'obstacle au faisceau optique de sécurité;
- Aucun obstacle ne coupe le faisceau optique;
- Un ordre de démarrage a été envoyé à l'automate programmable à l'aide du bouton « Marche ».

L'arrêt de la machine est provoqué par :

- L'ouverture d'une porte qui provoque la coupure du faisceau optique. Cette coupure est détectée par le circuit de commande du faisceau optique et donne l'ordre d'arrêt au moteur d'entraînement;
- L'automate programmable est informé de l'ouverture des portes par la sortie de signalisation du contact ***RL1C*** (ligne 5).

Caractéristiques du circuit de commande relatif à la sécurité

Composants et principes de sécurité éprouvés

Le système de détection à faisceau optique, incluant son module de sécurité, doivent être conformes à la norme IEC 61496[1] sur les équipements de protection électrosensibles. Plus spécifiquement, le faisceau de sécurité devra être du « type 2 » selon les prescriptions de cette norme.

Surveillance ou vérification

La vérification du bon fonctionnement du système est faite chaque fois que le système est réarmé, c'est-à-dire après l'ouverture d'une ou de plusieurs portes.

Le circuit d'avertissement contribuant au choix de la catégorie du système de protection mis en place, on devra vérifier son bon fonctionnement périodiquement. Par exemple, à chaque redémarrage de la machine. Cette vérification doit être considérée comme étant partie intégrante du système de protection.

Comportement du système en cas de défaut

À l'instar des équipements conçus selon les prescriptions de la catégorie 2 de la norme ISO 13849-1:1999, l'équipement de protection électrosensible de type 2 doit être conçu de façon à permettre une vérification périodique. La perte de la fonction de sécurité est possible entre deux intervalles de vérification. Le modèle utilisé dans cet exemple est muni d'une fonction de vérification automatique toutes les trois secondes.

Conclusion et recommandations

Un entretien préventif normal de la machine devra être effectué pour garantir un fonctionnement fiable du système de faisceau optique et du système d'avertissement. En particulier, il faudra veiller à nettoyer la lentille des cellules régulièrement et à vérifier le bon fonctionnement du klaxon.

En cas de détection d'un défaut, la réparation devra être effectuée sans tarder pour conserver le niveau de sécurité requis.

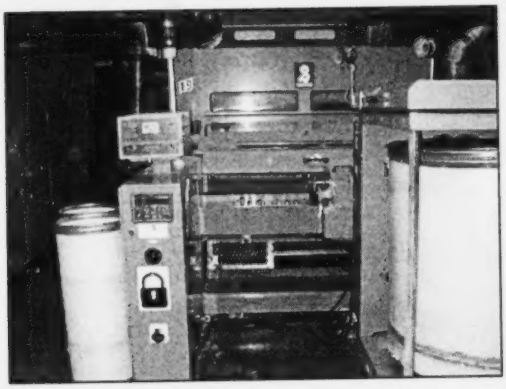
[1] IEC 61496-2:1997 Sécurité des machines - Équipement de protection électrosensible - Partie 2 : Prescriptions particulières à un équipement utilisant des dispositifs protecteurs optoélectroniques actifs (AOPD) [NO-121033].

4.7 Exemple : 3A — Catégorie : 3

CARDE À FIBRES COURTES

Protecteur équipé d'un dispositif d'interverrouillage avec détection d'arrêt du mouvement

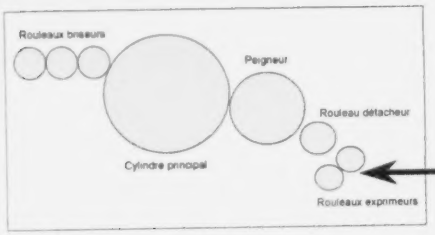
Fonctionnement de la machine



Cette carde, utilisée dans l'industrie textile, sert au traitement des fibres courtes. Les fibres sont cardées et alignées afin de produire un « voile » qui servira à la fabrication de fils. Plusieurs éléments dangereux en rotation servant à l'opération de cardage s'y trouvent logés à l'intérieur du bâti.

Parmi ces éléments, le rouleau détacheur et les rouleaux exprimeurs sont situés sur le devant de la machine. Un contact avec ceux-ci peut s'avérer très dangereux.

Un travailleur est chargé de veiller à la bonne marche des opérations de cardage dans l'usine. Il doit, entre autres, nettoyer les endroits où l'accumulation des résidus ne puisse compromettre la qualité du produit final.



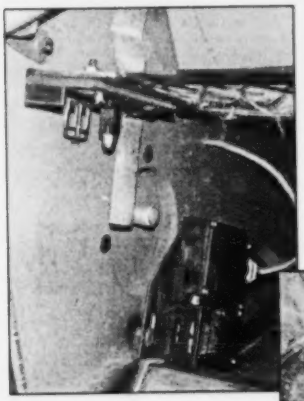
Détail de la situation dangereuse considérée

Les opérations de nettoyage sont essentielles au bon fonctionnement de la machine. Même si l'opérateur utilise un outil appelé « nettoyeur rotatif » ou « Rotopick » afin de déloger les résidus, ces opérations l'exposent à des risques d'entraînement et de lacération importants (voir même l'amputation) des mains. Ce nettoyage n'étant qu'occasionnel, la fréquence d'exposition à la zone située sur le devant de la machine qui donne accès au rouleau détacheur est donc considérée comme étant faible et de plus, l'opération ne dure que quelques instants.

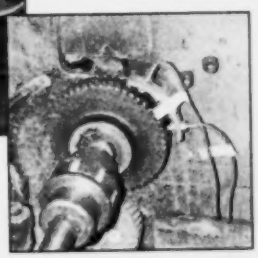
***Avertissement** : Un poste de travail utilisant ce type de machine ne pourra être considéré comme sécuritaire qu'après l'application complète des moyens de prévention identifiés par une analyse de risque exhaustive. Le ou les moyens de protection présentés ici ne constituent que des exemples qui doivent être adaptés à chaque contexte d'application.*

Exemple : 3A	Catégorie : 3

Moyen de protection considéré et fonction de sécurité du système de commande



Dispositif d'interverrouillage à clé retenue par solénoïde



Détail des dispositifs de détection de rotation (détecteurs de proximité inductifs)

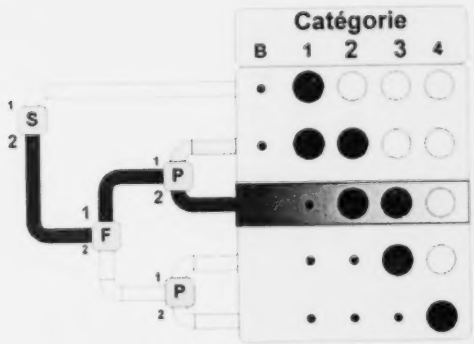
De par les masses des rouleaux en rotation, les forces d'inertie sont importantes. Le temps d'arrêt de ces rouleaux est suffisamment long pour que l'utilisation d'un protecteur équipé d'un dispositif d'interverrouillage soit jugée opportune. En effet, dans l'éventualité où un travailleur ouvrirait un protecteur simplement verrouillé, il serait exposé à la rotation des rouleaux pendant un certain temps.

Afin d'accéder à la zone dangereuse, l'opérateur doit donner l'ordre d'arrêt normal de la machine.

Le protecteur mobile est retenu par le dispositif d'interverrouillage tant et aussi longtemps que les capteurs (détecteurs de proximité) indiquent la présence des mouvements.

Suite à l'arrêt complet, le dispositif d'interverrouillage libère la clé fixée au protecteur, permettant ainsi l'ouverture du protecteur.

Détermination de la catégorie du système de sécurité



S *(Gravité de la lésion)* : **2** (Lésion grave)

Les blessures suite à un contact avec les rouleaux peuvent aller jusqu'à l'amputation d'une main.

F *(Fréquence et/ou durée d'exposition)* : **1** (Rare à assez fréquente et/ou de courte durée d'exposition).

Les interventions de nettoyage dans cette zone sont de courtes durées et peu fréquentes.

P *(Possibilité d'évitement)* : **2** (Rarement possible)

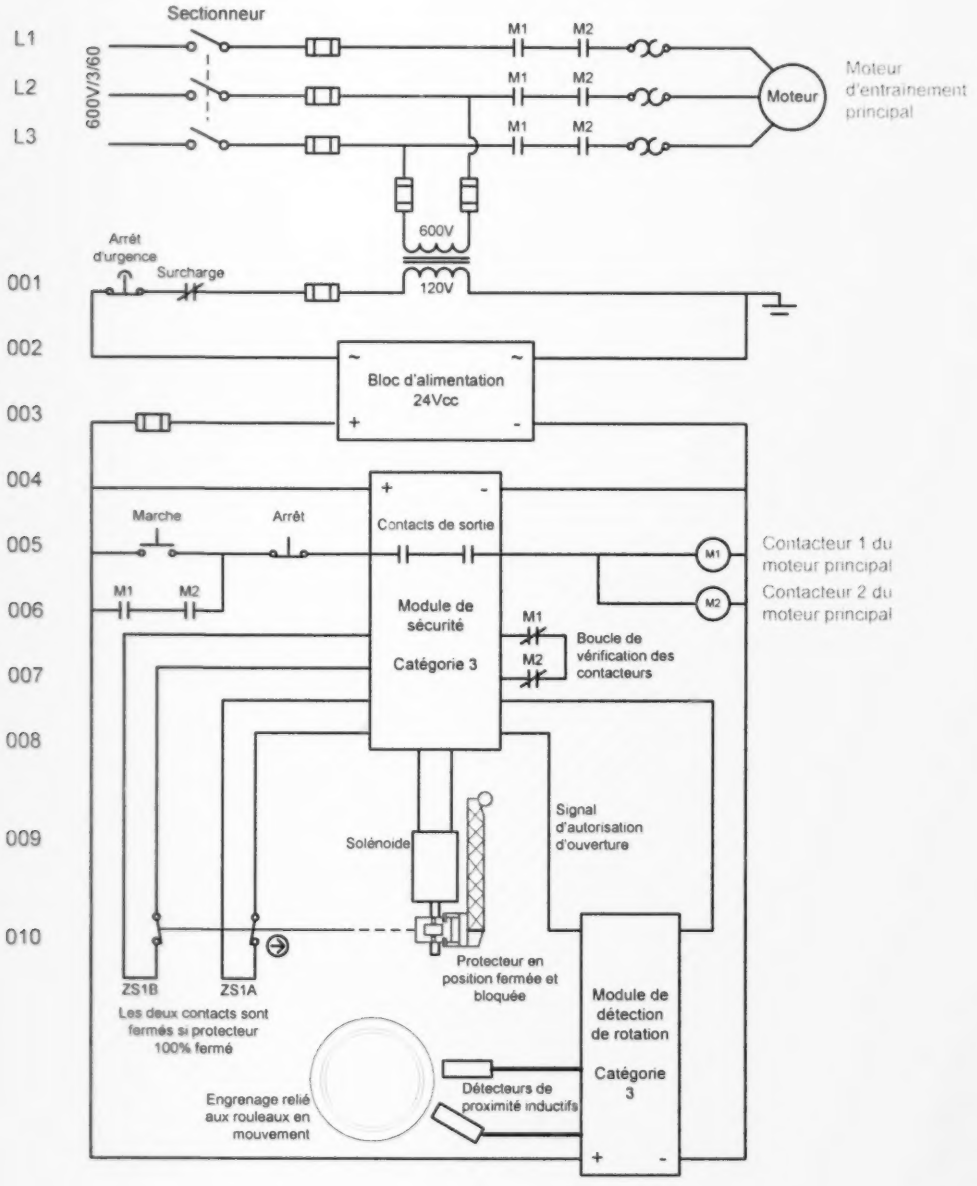
Si l'événement dangereux se produit (contact avec les rouleaux en rotation), il est pratiquement impossible d'éviter le phénomène dangereux et les dommages qui pourraient s'en suivre.

Catégorie retenue :

La combinaison **S2-F1-P2** présente deux choix de sélection de catégorie (**2** ou **3**). La posture dans laquelle le travailleur est appelé à effectuer ses interventions de nettoyage est telle, qu'il lui est pratiquement impossible de voir les rouleaux. Cette situation rend l'intervention encore plus périlleuse. L'utilisation d'un circuit de catégorie **3** pour le système de détection de présence du protecteur en position de protection complète est donc retenue.

Exemple : 3A	Catégorie : 3

Schéma du circuit électrique



Exemple : 3A	Catégorie : 3

Fonctionnement du circuit électrique

Le fonctionnement de la carde est schématisé par un circuit simple « marche / arrêt » à automaintien. La carde démarrera dans les conditions suivantes :

- Le protecteur doit être complètement fermé. Sa position fermée est détectée par l'insertion de la clé (fixée au protecteur) dans l'interrupteur ***ZS1***. Cet interrupteur fait partie intégrante du dispositif d'interverrouillage;
- Le solénoïde est déployé et bloque le retrait de la clé empêchant l'ouverture du protecteur;
- Un ordre de démarrage est donné en appuyant sur le bouton marche.

Pour accéder à la zone dangereuse, le travailleur doit donner un ordre d'arrêt normal à la machine. Le protecteur restera bloqué jusqu'à l'arrêt complet des mouvements de rotation des rouleaux détectés par les deux détecteurs de proximité inductifs.

Le module de sécurité, conçu selon les prescriptions de la catégorie 3, est au cœur du circuit et assure le niveau de performance du système de protection. Il n'autorisera l'ouverture du protecteur que lorsque le module de détection de rotation lui donnera un signal attestant de l'arrêt des mouvements. À ce moment, le module de sécurité:

- Alimentera le solénoïde, libérant la clé et permettant l'ouverture du protecteur;
- Détectera l'ouverture du protecteur par le changement d'état des contacts ***ZS1A*** et ***ZS1B***;
- Coupera l'alimentation des contacteurs ***M1*** et ***M2*** empêchant une remise en marche de la machine.

Caractéristiques du circuit de commande relatif à la sécurité

Principes de sécurité

La redondance est mise à profit dans cet exemple. Tous les éléments importants à l'atteinte des objectifs de performance du circuit sont doublés (contacteurs, contacts de l'interrupteur intégré dans le dispositif d'interverrouillage, détecteurs de proximité). Les principes usuels sont aussi mis à contribution : ouverture forcée du contact ***ZS1A***, actionnement positif de cet interrupteur à clé, contacteurs à contacts guidés.

Surveillance ou vérification

Outre l'autodiagnostic intégré au module de sécurité, l'état des contacts des contacteurs ***M1*** et ***M2*** est vérifié par une boucle de vérification reliée au module de sécurité. Cette vérification a pour objectif de s'assurer que les deux contacteurs à contacts guidés sont toujours opérationnels avant chaque sollicitation.

Comportement du système en cas de défaut

Tel que le prescrit la norme, tout défaut unique dans le circuit doit être détecté lorsque cela est raisonnablement faisable. C'est la raison principale qui conduit à la redondance des éléments afin d'éviter les défauts de mode commun qui pourraient affecter plus d'un élément simultanément. Toutefois, la perte de la fonction de sécurité est possible, l'accumulation de défauts n'étant pas considérée.

Conclusion et recommandations

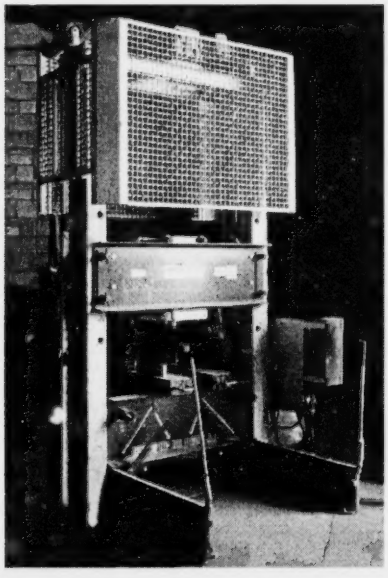
Dans cet exemple, l'utilisation de modules de sécurité s'avère un avantage comparativement à l'utilisation de relais à contacts guidés usuels. La détection de rotation est aussi un avantage comparativement à l'utilisation d'une minuterie : dès que la rotation des rouleaux cesse, l'ouverture du protecteur est possible. Comme c'est le cas ici, le temps d'arrêt de l'équipement est relativement long, rendant moins sûre l'utilisation d'une minuterie qui devra être ajustée avec un facteur de sécurité trop long afin d'assurer l'atteinte d'une condition sécuritaire.

4.8 Exemple : 3B — Catégorie : 3

PRESSE HYDRAULIQUE

Protecteur équipé d'un dispositif de verrouillage (à deux interrupteurs de position)

Fonctionnement de la machine



Cette presse hydraulique est utilisée occasionnellement dans un atelier d'entretien mécanique par des mécaniciens d'entretien.

Elle sert principalement à extraire ou à emmancher sous pression des axes de rotation de réducteurs de vitesse, de transmission, etc.

L'opération considérée ici est la mise en place d'un axe dans une roue d'engrenage, L'axe à emmancher a été placé sur la roue d'engrenage et le plateau de la presse hydraulique commence à descendre.

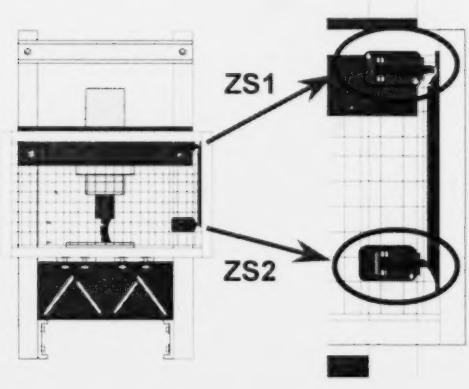
Détail de la situation dangereuse considérée

Un mauvais alignement entre l'axe et la roue provoque l'éclatement et la projection de fragments de métal, La situation dangereuse correspond à la possibilité pour le travailleur de recevoir des éclats métalliques de tailles importantes, Les lésions qui en résulteraient pourraient être graves, La fréquence de ce type d'opération est cependant très rare.

***Avertissement** : Un poste de travail utilisant ce type de machine ne pourra être considéré comme sécuritaire qu'après l'application complète des moyens de prévention identifiés par une analyse de risque exhaustive. Le ou les moyens de protection présentés ici ne constituent que des exemples qui doivent être adaptés à chaque contexte d'application.*

Exemple 3B : Presse hydraulique	Catégorie : 3

Moyen de protection considéré et fonction de sécurité du système de commande



Détails des interrupteurs de position, Protecteur en position fermée.

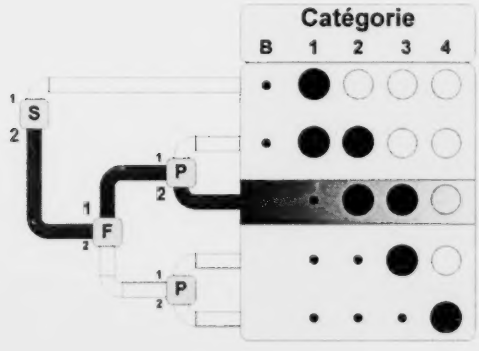
Un protecteur coulissant a été installé pour empêcher les projections lors de la descente du coulisseau.

Le protecteur, en plus d'empêcher tout accès à la zone de travail de la presse, arrête les particules métalliques qui pourraient provenir de l'éclatement de pièces sous pression.

Le mouvement vers le bas de la presse ne peut avoir lieu que lorsque la présence du protecteur a été détectée en position basse à l'aide des interrupteurs de position ***ZS1*** et ***ZS2***; tout mouvement de la presse vers le bas est arrêté si le protecteur est relevé.

La détection de la fermeture complète du protecteur est la fonction de sécurité à assurer par l'interrupteur de position.

Détermination de la catégorie du système de sécurité



S *(Gravité de la lésion)* : **2** (Lésion grave)

La projection de fragments lors de la descente du coulisseau peut entraîner des lésions graves.

F *(Fréquence et/ou durée d'exposition)* : **1** (Rare à assez fréquente et/ou de courte durée d'exposition).

L'utilisation de cette presse est peu fréquente et les durées d'utilisation sont courtes.

P *(Possibilité d'évitement du dommage)* : **2** (Rarement possible)

Il est pratiquement impossible d'éviter d'être atteint par la projection d'un fragment de métal lors de l'opération.

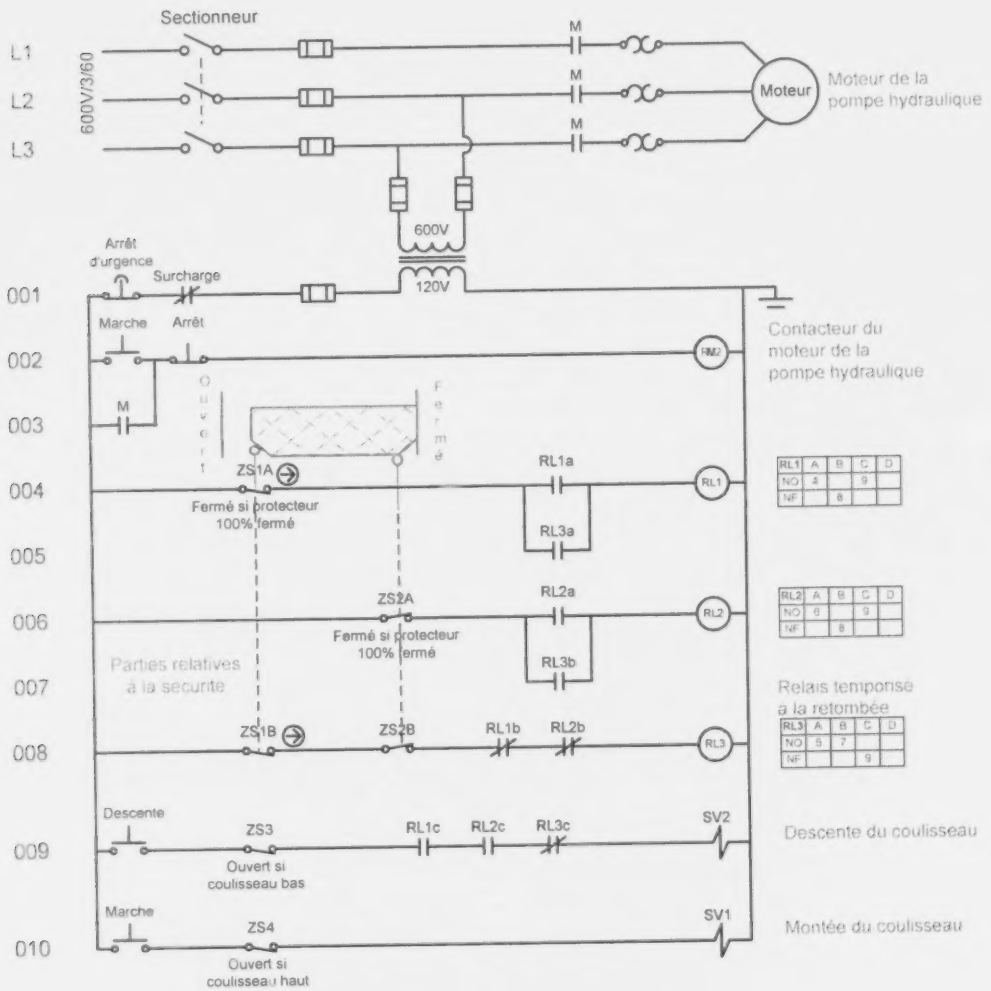
Catégorie retenue :

La combinaison **S2-F1-P2** présente deux choix de sélection de catégorie (**2** ou **3**), Il n'y a pas de formation précise pour l'opération de cette machine, Tous les travailleurs de l'usine peuvent l'utiliser sans avoir été informés des dangers liés à son opération, Aucun travailleur n'y étant officiellement rattaché, l'analyse du risque a aussi montré que l'entretien de la machine montrait des lacunes,

Pour ces raisons, l'utilisation d'un circuit de catégorie **3** pour le système de détection de présence du protecteur en position de protection complète est retenue.

Exemple 3B : Presse hydraulique	Catégorie : 3

Schéma du circuit électrique



Référence : Sécurité des machines et des équipements de travail, Circuits de commande et de puissance. Principes d'intégration des exigences de sécurité, ED913, INRS, 2003, [MO-128083]

Exemple 3B : Presse hydraulique — Catégorie : 3

Fonctionnement du circuit électrique

Pour permettre un mouvement vers le bas du coulisseau, il faut :

- Démarrer la pompe hydraulique à l'aide du bouton marche situé hors d'atteinte de la zone dangereuse;
- S'il ne l'est pas déjà, ouvrir le protecteur; la position ouverte du protecteur est détectée par les interrupteurs ***ZS1*** et ***ZS2***; ce cycle permet une autovérification du fonctionnement du système de sécurité;
- Fermer le protecteur; la position fermée du protecteur est détectée par les interrupteurs ***ZS1*** et ***ZS2***; la descente du coulisseau est maintenant autorisée;
- Effectuer la commande de descente du coulisseau à l'aide du bouton « Descente ».

L'ouverture du protecteur entraîne un arrêt immédiat du mouvement du coulisseau vers le bas, mais n'empêche pas un mouvement vers le haut, déclenché par le bouton « Montée ».

L'arrêt en fin de course du coulisseau en position basse ou haute est provoqué par l'actionnement des interrupteurs de position ***ZS3*** et ***ZS4***.

À chaque mise sous tension du circuit, le cycle de vérification du mouvement du protecteur doit être effectué.

Caractéristiques du circuit de commande relatif à la sécurité

Principes de sécurité

La redondance est aussi mise à contribution dans cet exemple de circuit de catégorie 3 basé sur l'utilisation d'éléments simples tels que interrupteurs de position et relais. La détection de la position du protecteur repose sur l'utilisation de deux interrupteurs ***ZS1*** et ***ZS2*** , eux-mêmes utilisant chacun deux contacts distincts. Tous les relais ***RL1***, ***RL2*** et ***RL3*** sont à contacts guidés. L'interrupteur de position du protecteur (***ZS1***) est à ouverture forcée et son actionnement, accompli lors de la levée du protecteur, est positif.

Surveillance ou vérification

Un essai de vérification du bon fonctionnement de tous les composants du système doit être effectué à chaque fois que la pompe est démarrée en déplaçant le protecteur de la position ouverte à la position fermée. À chaque ouverture du protecteur, ce cycle de vérification est répété automatiquement. On s'assure ainsi du bon fonctionnement du circuit de sécurité.

Comportement du système en cas de défaut

L'accumulation de défaut pourrait mener à la perte de la fonction de sécurité.

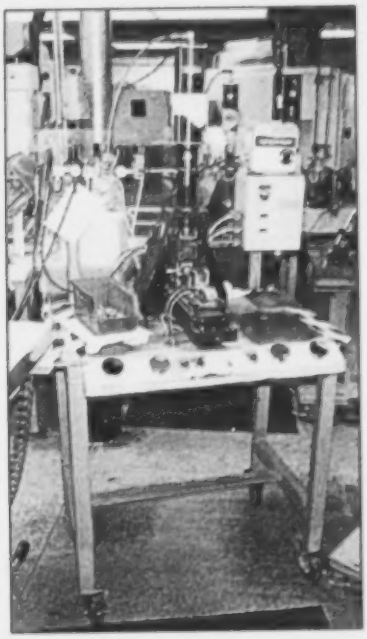
Conclusion et recommandations

La fixation solide des interrupteurs et un montage adéquat du protecteur sont un préalable dans cet environnement difficile. On s'assurera aussi de la robustesse des modèles d'interrupteurs choisis. Le circuit hydraulique devrait lui aussi être conforme aux exigences de la norme ISO 13849-1:1999. On pourra s'inspirer des exemples de circuits hydrauliques de sécurité présentés dans le document suivant : *Catégories pour les parties relatives aux commandes selon la norme EN 954-1, Rapport du BIA 6/97e, 216 p. BIA, Sankt Augustin, traduction anglaise du BIA, 1999 [MO-220243]*.

4.9 Exemple : 4A **Catégorie : 4**

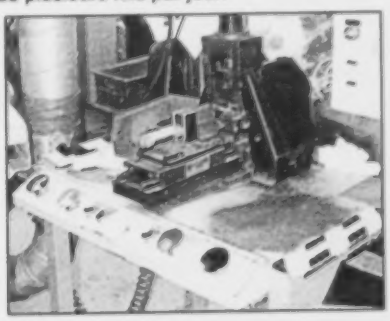
MACHINE DE DÉCOUPE ET FORMAGE À VÉRINS PNEUMATIQUES
Commande bimanuelle

Fonctionnement de la machine



Cette machine sert à la découpe et au formage de pièces moulées. Elle utilise des vérins pneumatiques qui serrent la pièce et la façonne. D'utilisation relativement simple, elle est alimentée de façon manuelle par les travailleurs. Une grande précision est nécessaire à l'accomplissement de cette tâche.

Chaque pièce est introduite dans les mâchoires et lorsque la commande de départ est donnée, le cycle démarre. Une fois la pièce découpée et ainsi formée, on la retire manuellement. Ce travail est effectué plusieurs fois par jour.



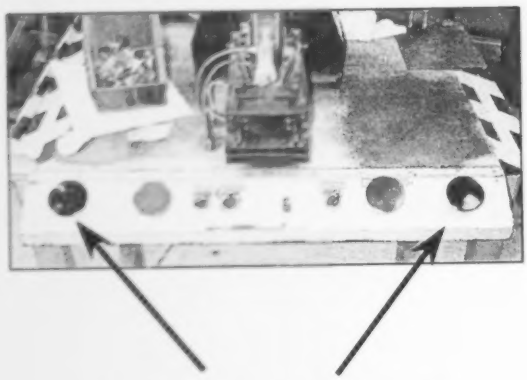
Détail de la situation dangereuse considérée

Les phénomènes dangereux illustrés ici sont essentiellement d'ordre mécanique. Lorsqu'il est déployé, un des vérins utilisés pour l'opération crée une zone de coincement pouvant blesser sérieusement l'opérateur. Les forces appliquées et les vitesses utilisées dans cette application sont considérables. Dans l'éventualité où un travailleur verrait une partie de sa main dans la zone dangereuse au moment où l'ordre de départ est donné, il n'aurait pratiquement aucune chance d'éviter la blessure. L'opération de cette machine se fait habituellement sur plusieurs heures pendant la journée de travail. En raison de la précision exigée et de la cadence, il a été déterminer que l'utilisation d'un protecteur serait nuisible aux opérations.

Avertissement *: Un poste de travail utilisant ce type de machine ne pourra être considéré comme sécuritaire qu'après l'application complète des moyens de protection identifiés par une démarche d'appréciation du risque. Le ou les moyens de protection présentés ici ne constituent que des exemples qui doivent être adaptés à chaque contexte d'application.*

Exemple 4A : Machine de découpe et formage à vérins pneumatiques Catégorie : 4

Moyen de protection considéré et fonction de sécurité du système de commande



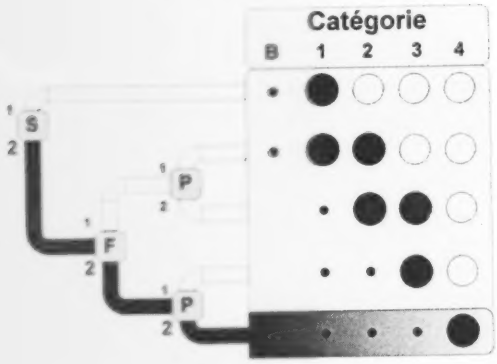
Boutons de la commande bimanuelle

La protection envisagée dans ce cas a été l'application du principe de l'éloignement par l'utilisation d'une commande bimanuelle.

Ce moyen de protection repose sur l'utilisation de deux boutons de commande qui doivent être actionnés de façon simultanée pour donner l'ordre de départ de la machine.

Le retrait d'une des deux mains provoque l'arrêt et le retrait immédiat des vérins.

Détermination de la catégorie du système de sécurité



S *(Gravité de la lésion)* : **2** (Lésion grave)

Les forces déployées par les vérins sont suffisantes pour provoquer de graves blessures aux mains, incluant l'amputation de doigts.

F *(Fréquence et/ou durée d'exposition)* : **2** (Fréquente à continue et/ou de longue durée)

Considérant que l'opération de cette machine s'effectue sur plusieurs heures par jour, la fréquence et la durée d'exposition au phénomène dangereux sont élevées.

P *(Possibilité d'évitement)* : **2** (Rarement possible)

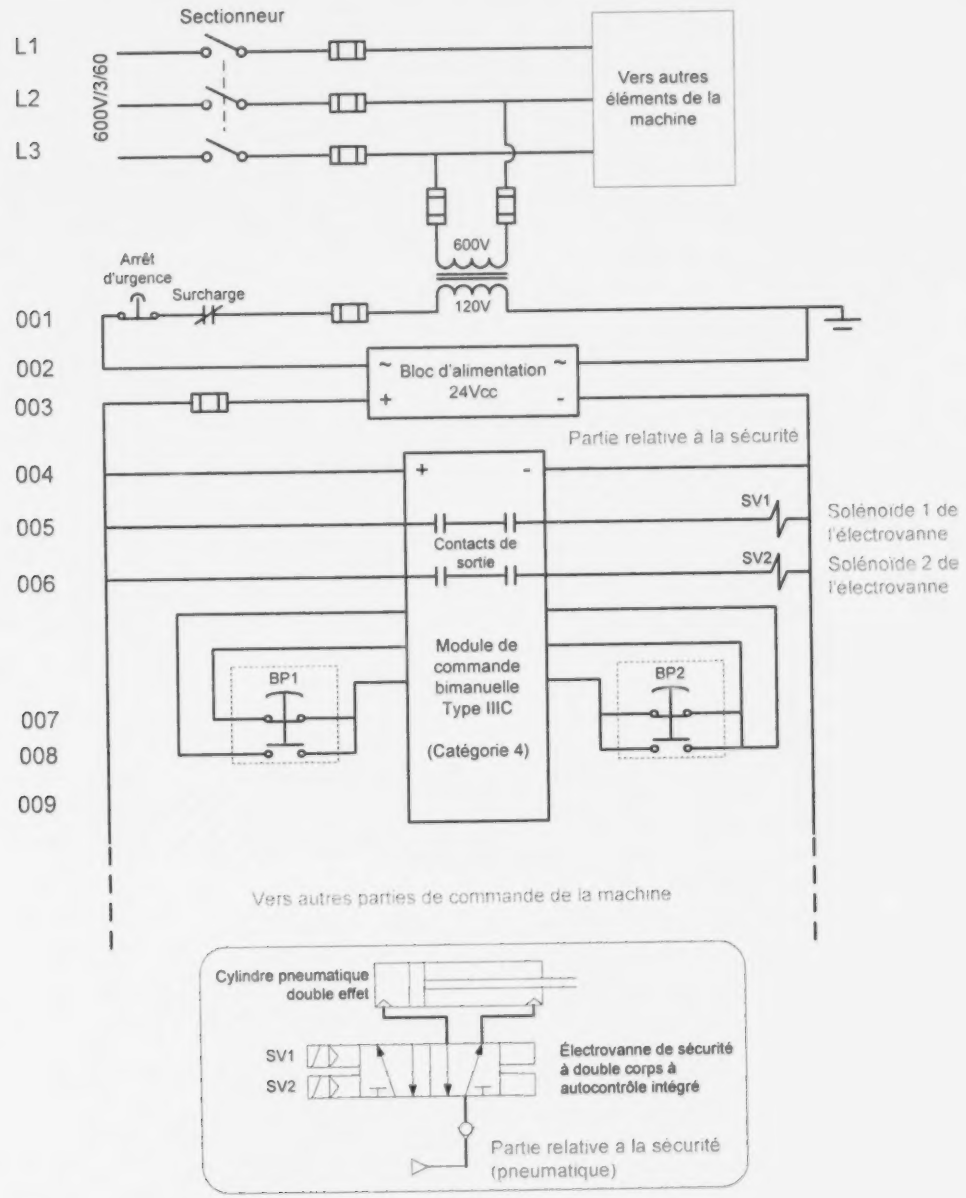
Il est pratiquement impossible de retirer sa main ou ses doigts suffisamment rapidement pour éviter une blessure dans cette situation.

Catégorie retenue :

La combinaison **S2-F2-P2** conduit à recommander l'utilisation d'un circuit répondant aux critères de la catégorie **4**. Outre les avertissements, aucun autre moyen de protection important n'ayant été retenu, il est important de noter que la sécurité des travailleurs repose essentiellement sur le bon fonctionnement du circuit de commande lorsque qu'ils sont exposés au phénomène dangereux.

Exemple 4A : Machine de découpe et formage à vérins pneumatiques — Catégorie : 4

Schéma du circuit électrique



Exemple 4A : Machine de découpe et formage à vérins pneumatiques	Catégorie : 4

Fonctionnement du circuit électrique

Le fonctionnement de la machine fait appel à l'utilisation de vérins pneumatiques. Un de ces vérins est susceptible de causer des blessures lorsqu'il est actionné. Ce vérin est commandé par un dispositif de commande bimanuelle.

L'essentiel du circuit repose sur l'utilisation d'un module de sécurité de commande bimanuelle de type IIIC (correspondance avec la catégorie 4) selon la norme ISO 13851:2002 [1]. Les caractéristiques de ce module de commande bimanuelle sont les suivantes :

- Les deux boutons de la commande bimanuelle ***BP1*** et ***BP2*** sont reliés au module. Les contacts complémentaires normalement ouverts et normalement fermés sont tous mis à contribution;
- Le départ des mouvements du vérin sera initié lorsque ces boutons sont actionnés simultanément à l'intérieur d'un délai fixe de 500 millisecondes;
- Les contacts de sécurité du module se ferment et alimentent les deux solénoïdes ***SV1*** et ***SV2***;
- Ces solénoïdes sont situés à même l'électrovanne de sécurité qui permettra les mouvements des vérins.

Au relâchement d'un des boutons, le module de commande bimanuelle coupe l'alimentation des solénoïdes ***SV1*** et ***SV2*** ramenant le vérin dans sa position initiale.

Caractéristiques du circuit de commande relative à la sécurité

Principes de sécurité

Les prescriptions de la catégorie 4 selon la norme ISO 13849-1:1999 sont très exigeantes. Pour atteindre ces objectifs, ce circuit met à profit l'utilisation d'un module de sécurité dédié à la fonction de commande bimanuelle conforme aux exigences de la norme. La redondance est utilisée (contacts des boutons poussoirs, solénoïdes et vannes de sécurité double-corps) ainsi que l'autocontrôle interne au module.

L'électrovanne utilisée dans cet exemple est une vanne double-corps à sécurité intrinseque. Il est aussi possible d'utiliser des électrovannes à double-corps munies de détecteurs de position et d'utiliser un module externe de vérification de vannes double-corps.

Surveillance ou vérification

Le module effectue un autocontrôle de l'état des boutons poussoirs par l'entremise des contacts complémentaires (normalement ouverts et normalement fermés) qui y sont reliés. Toute la circuiterie interne est aussi soumise à cet autocontrôle.

Comportement du système en cas de défaut

Selon les critères de la catégorie 4 de la norme ISO 13849-1:1999, l'apparition d'un défaut unique ne pourra mener à la perte de la fonction de sécurité. L'apparition de défauts supplémentaires est considérée et ne pourra mener à la perte de la fonction de sécurité.

Conclusion et recommandations

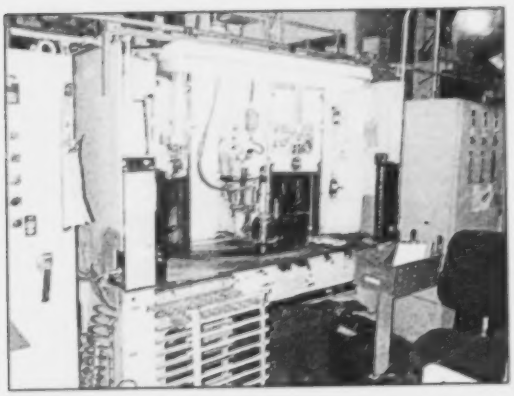
La fonction de sécurité repose entièrement sur le bon fonctionnement de ce circuit. Dans l'éventualité où une défaillance surviendrait, le travailleur serait en situation dangereuse. Ce module rencontre les spécifications de la catégorie 4 par sa structure redondante interne. L'utilisation de ce type de module est un avantage dans certains cas où la complexité du circuit serait telle, qu'elle rendrait laborieuse la conception et le développement d'un circuit basé sur des composants courants tels que les relais.

[1] ISO 13851:2002 Sécurité des machines – Dispositifs de commande bimanuelle – aspects fonctionnels et principes de conception. [NO-120829]

4.10 Exemple : 4B **Catégorie : 4**

POSTE D'ALIMENTATION DE MACHINE D'USINAGE
Barrage immatériel

Fonctionnement de la machine



Afin de réduire l'exposition des travailleurs aux phénomènes dangereux de cette machine d'usinage tels que le bruit, les poussières et surtout les organes mécaniques en mouvement, un système d'alimentation des pièces à usiner a été installé.

Ce système est muni d'un anneau sur lequel sont montés deux gabarits. Une fois les pièces à usiner installées sur ces gabarits, elles sont préparées par une opération de serrage à l'aide d'un vérin pneumatique.

Le travailleur donne la commande de démarrage du cycle d'opération. Une rotation sur 180 degrés de l'anneau amène la pièce à être usinée à l'intérieur de la machine tandis que celle dont le cycle est terminé revient au poste d'alimentation pour y être déchargée.

Détail de la situation dangereuse considérée

Plusieurs phénomènes dangereux sont présents dans cet ensemble. La machine elle-même est encoffrée et l'accès à la zone d'usinage ne peut se faire que par les deux portes permettant aux pièces d'entrer dans la zone d'usinage. Ces portes, chacune actionnée par un vérin pneumatique, sont situées de chaque côté et sont commandées automatiquement par le système d'alimentation. Elles présentent donc une zone de coincement pour les travailleurs au moment où elles se referment.

L'installation des pièces sur les gabarits expose ces mêmes travailleurs à un autre phénomène dangereux. L'analyse du risque montre que le serrage de la pièce par un vérin pneumatique sur ce gabarit peut créer des lésions graves aux mains et aux bras.

Enfin, la rotation de l'anneau expose les travailleurs à une zone de coincement entre les gabarits qui suivent le mouvement l'anneau et le bâti de la machine, qui lui est fixe.

***Avertissement** : Un poste de travail utilisant ce type de machine ne pourra être considéré comme sécuritaire qu'après l'application complète des moyens de prévention identifiés par une analyse de risque exhaustive. Le ou les moyens de protection présentés ici ne constituent que des exemples qui doivent être adaptés à chaque contexte d'application.*

Exemple 4B : Poste d'alimentation de machine d'usinage — Catégorie : 4

Moyen de protection considéré et fonction de sécurité du système de commande

Un barrage immatériel a été retenu comme moyen de réduction du risque. Ce barrage bloque les mouvements de l'anneau, des portes et du vérin de serrage des pièces à usiner.

La séquence d'opération est la suivante :

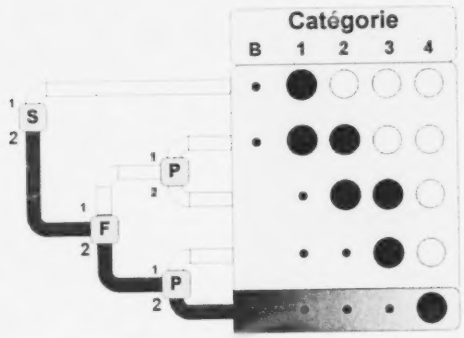
- La pièce à usiner est installée sur le gabarit pendant que l'usinage se déroule derrière les portes fermées;
- Un vérin pneumatique est utilisé pour serrer et préparer les pièces à usiner.

Lorsque l'usinage est terminé :

- Les portes s'ouvrent;
- L'anneau effectue une rotation de 180°;
- On retire la pièce usinée.

Le cycle peut alors recommencer.

Détermination de la catégorie du système de sécurité



S *(Gravité de la lésion)* : **2** (Lésion grave)

Des blessures graves peuvent survenir suite à un coincement entre un gabarit et le bâti de la machine, dans les portes ou entre la pièce et le mécanisme de serrage.

F *(Fréquence et/ou durée d'exposition)* : **2** (Fréquente à continue et/ou de longue durée)

Ces opérations sont réalisées plusieurs dizaines de fois par jour en continu.

P *(Possibilité d'évitement)* : **2** (Rarement possible)

Si la rotation de l'anneau est lente, il est par contre pratiquement impossible d'éviter la fermeture des portes ou du dispositif de serrage.

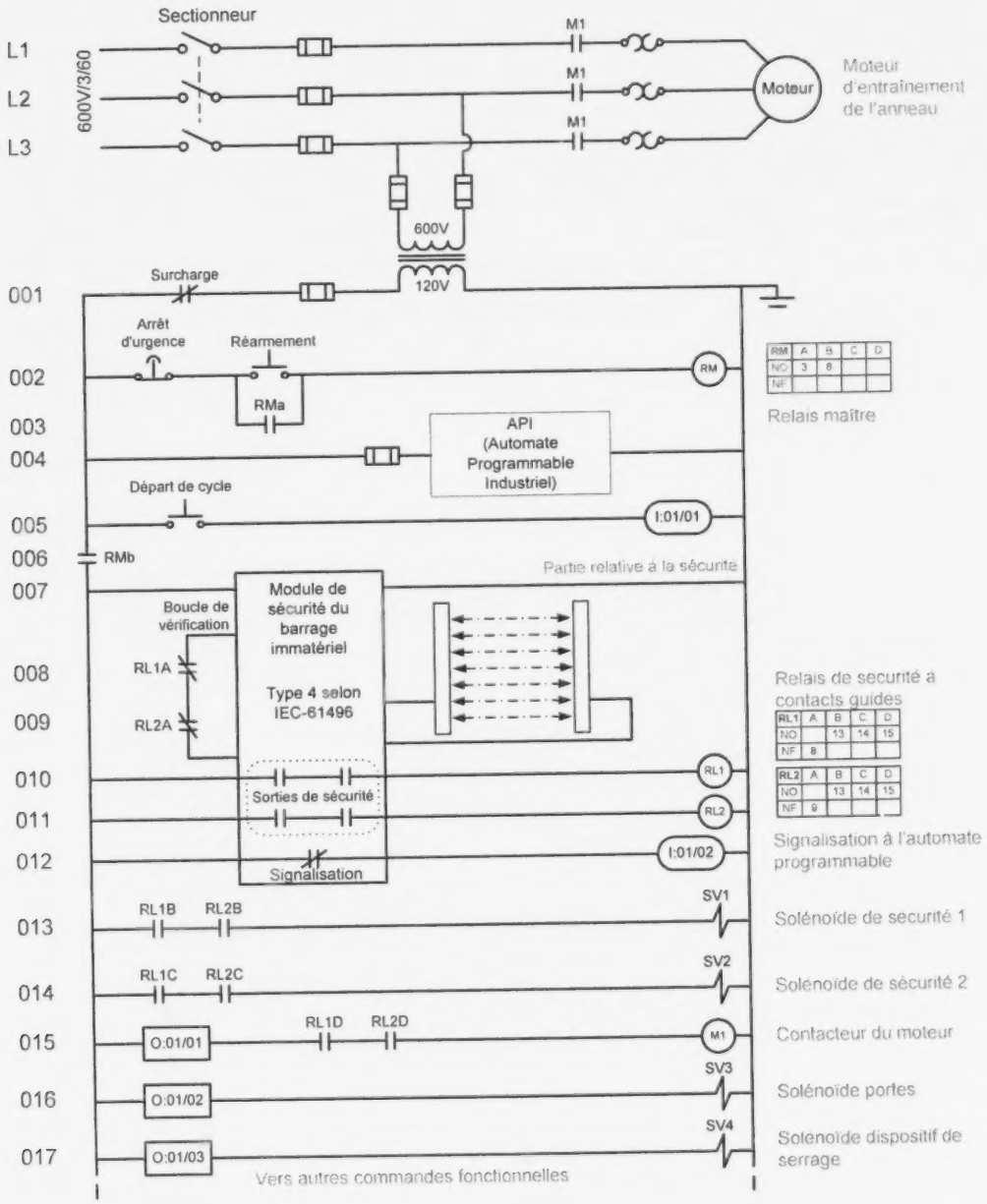
Catégorie retenue :

La combinaison **S2-F2-P2** mène au choix de la catégorie 4. Plusieurs phénomènes dangereux sont présents. Deux d'entre eux, soit la fermeture des portes et dispositif de serrage, effectuent des mouvements rapides et pourraient causer des blessures graves. Suivant les recommandations qu'on trouve dans la norme IEC 61496[1], le barrage immatériel choisi devra rencontrer les exigences de sécurité d'un dispositif de type 4. Les exigences du type 4 correspondent approximativement à celles de la catégorie 4 de la norme ISO 13849-1:1999.

[1] IEC 61496-2:1997 Sécurité des machines - Équipement de protection électrosensible - Partie 2 : Prescriptions particulières à un équipement utilisant des dispositifs protecteurs optoélectroniques actifs (AOPD) [NO-121033].

Exemple 4B : Poste d'alimentation de machine d'usinage — Catégorie 4

Schéma du circuit électrique



Exemple 4B : Poste d'alimentation de machine d'usinage — Catégorie : 4

Fonctionnement du circuit électrique

Le circuit de commande du système d'alimentation et de la machine d'usinage est basé sur l'utilisation d'un automate programmable industriel. Le barrage immatériel est composé d'un module de commande et d'une paire d'émetteur-récepteur. Le barrage choisi rencontre les critères des dispositifs de type 4 selon la norme IEC 61496.

- Le fonctionnement du système n'est possible que si aucun obstacle ne coupe un des faisceaux du barrage et qu'aucun défaut ne soit détecté par le module de commande de ce barrage;
- Le cycle est initié par le bouton « Départ de cycle » qui envoie une commande à l'automate programmable.

Si un des faisceaux du barrage est coupé :

- Les sorties de sécurité du module coupent l'alimentation des relais à contacts guidés ***RL1*** et ***RL2***;
- Ces relais coupent l'alimentation des solénoïdes ***SV1*** et ***SV2***, ce qui a comme effet de fermer une électrovanne de sécurité à double-corps alimentant le circuit pneumatique des portes et du système de serrage;
- Ils coupent également l'alimentation du contacteur ***M1*** du moteur d'entraînement de l'anneau.

L'automate programmable est informé de ce changement d'état par un contact du module (voir ligne 12).

Caractéristiques du circuit de commande relatif à la sécurité

Principes de sécurité

Les prescriptions du type 4 de la norme IEC 61496 correspondent à peu de choses près à celles de la catégorie 4 de la norme ISO 13849-1:1999. Les dispositifs conçus selon ces critères sont réputés présenter un excellent niveau de protection et utilisent, pour y arriver, les principes tels que la redondance et l'autocontrôle.

Les sorties de sécurité ainsi que les solénoïdes de l'électrovanne de sécurité sont doublés. Si le contacteur ne l'est pas, c'est qu'il a été choisi de façon à assurer une excellente fiabilité dans ces conditions d'utilisation. Idéalement, il serait lui aussi doublé et ses contacts auxiliaires (guidés) serviraient à valider son état de fonctionnement de la même façon que les relais ***RL1*** et ***RL2*** le font ici (voir lignes 8 et 9 du circuit).

Surveillance ou vérification

Le module effectue un autocontrôle de l'état du barrage, des contacts ***RL1*** et ***RL2***.

Comportement du système en cas de défaut

À l'instar de la catégorie 4, dans un dispositif conçu selon les prescriptions du type 4, l'apparition d'un défaut unique ne pourra mener à la perte de la fonction de sécurité. L'apparition de défauts supplémentaires est considérée et ne pourra mener à la perte de la fonction de sécurité.

Conclusion et recommandations

L'installation des dispositifs de sécurité sophistiqués tels que les barrages immatériels de type 4 doit se faire avec rigueur. Les fabricants mettent à la disposition des utilisateurs généralement assez d'indications afin que la chaîne de commande respecte les principes reconnus. Dans l'éventualité où un des principes ne serait pas respecté, par exemple, en utilisant qu'une seule sortie du module de sécurité, le niveau de performance attendu ne serait plus le même, généralement au détriment de la sécurité des travailleurs.

5. ANNEXE A : LÉGENDE DES CIRCUITS ÉLECTRIQUES

	Bouton-poussoir normalement ouvert (action momentanée)
	Bouton-poussoir normalement fermé (action momentanée)
	Bouton-poussoir d'arrêt d'urgence (normalement fermé, action momentanée)
	Contact normalement ouvert
	Contact normalement fermé
	Interrupteur normalement ouvert (en position ouverte)
	Interrupteur normalement ouvert (en position fermée)
	Interrupteur normalement fermé (en position fermée)
	Interrupteur normalement fermé (en position ouverte)
	Relais ou contacteur
	Symbole de l'ouverture forcée
	Entrée de l'automate programmable
	Sortie de l'automate programmable
	Élément de surcharge
	Fusible
	Mise à la terre
	Transformateur
	Moteur
	Tableau informatif sur les contacts des relais

6. ANNEXE B : DÉFINITIONS

Définitions tirées de la norme ISO 13849-1:1999

Partie d'un système de commande relative à la sécurité
Partie ou sous-partie(s) d'un système de commande qui répond à des signaux d'entrée et génère des signaux de sortie relatifs à la sécurité.

Catégorie
Classification des parties d'un système de commande relatives à la sécurité liée à leur résistance aux défauts et à leur comportement subséquent sous défauts.

Sécurité des systèmes de commande
Aptitude des parties relatives à la sécurité d'un système de commande à exécuter leur(s) fonction(s) de sécurité pendant un temps donné, conformément à la catégorie qui leur a été attribuée.

Sécurité positive : (*ISO/CD 12100-1*) (Fail-safe condition) : situation théorique qui serait réalisée si une fonction restait assurée en cas de défaillance du système d'alimentation en énergie ou de tout composant contribuant à la réalisation de cette situation. Dans la pratique, plus l'effet de ces défaillances sur la fonction de sécurité est réduit, plus on se rapproche de la réalisation de cette situation.

Défaut
État d'une entité inapte à accomplir une fonction requise, non compris l'inaptitude due à la maintenance préventive ou à d'autres actions programmées ou due à un manque de moyens extérieurs.

Défaillance
Cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise.
Note 1 : Après défaillance d'une entité, cette entité a un défaut.
Note 2 : Une défaillance est un passage d'un état à un autre, par opposition à un défaut, qui est un état.
Note 3 : La notion de défaillance, telle qu'elle est définie, ne s'applique pas à une entité constituée seulement de logiciel.
Note 4 : En pratique, les termes "défaut" et "défaillance" sont souvent utilisés comme des synonymes.

Fonction de sécurité des systèmes de commande
Fonction initiée par un signal d'entrée et traitée par les parties du système de commande relatives à la sécurité conduisant la machine (en tant que système) à atteindre un état sûr.

Définitions tirées de la norme ISO 12100-1:2003

Fiabilité (d'une machine)
Aptitude d'une machine ou de ses composants ou équipements, à accomplir sans défaillance une fonction requise, dans des conditions données et pendant un laps de temps donné.

Dommage
Blessure physique ou atteinte à la santé.

Phénomène dangereux
Risque
Source potentielle de dommage
Note 1 : L'expression «phénomène dangereux» et le terme «risque» (au sens de «phénomène dangereux») peuvent être qualifiés de manière à faire apparaître l'origine (par exemple, phénomène dangereux mécanique, phénomène dangereux électrique) ou la nature du dommage potentiel (par exemple, risque de choc électrique, risque de coupure, risque d'intoxication, risque d'incendie).
Note 2 : Le phénomène dangereux envisagé dans cette définition :
- *ou bien est présent en permanence pendant l'utilisation normale de la machine (par exemple, déplacement d'éléments mobiles dangereux, arc électrique pendant une phase de soudage, mauvaise posture, émission de bruit, température élevée);*
- *ou bien peut apparaître de manière inattendue (par exemple, explosion, risque d'écrasement résultant d'une mise en marche intempestive / inattendue, projection résultant d'une rupture, chute résultant d'une accélération ou d'une décélération).*

Situation dangereuse
Situation dans laquelle une personne est exposée à au moins un phénomène dangereux. L'exposition peut entraîner un dommage, immédiatement ou à plus long terme.

Zone dangereuse
Zone de risque
Tout espace, à l'intérieur et/ou autour d'une machine, dans lequel une personne peut être exposée à un phénomène dangereux.

Risque
Combinaison de la probabilité d'un dommage et de la gravité de ce dommage.

Appréciation du risque
Processus global d'analyse et d'évaluation du risque.

Analyse du risque
Combinaison de la détermination des limites de la machine, de l'identification des phénomènes dangereux et de l'estimation du risque.

Estimation du risque
Définition de la gravité probable d'un dommage et de la probabilité de ce dommage.

Évaluation du risque
Jugement destiné à établir, à partir de l'analyse du risque, si les objectifs de réduction du risque ont été atteints.

Protection
Mesures de prévention faisant appel à des moyens de protection pour préserver les personnes des phénomènes dangereux qui ne peuvent raisonnablement être éliminés ou des risques qui ne peuvent être suffisamment réduits par l'application de mesures de prévention intrinsèque.

Utilisation normale d'une machine
Utilisation d'une machine conformément aux indications données dans les instructions pour l'utilisation.

Moyen de protection
Protecteur ou dispositif de protection.

Protecteur
Barrière physique conçue comme un élément de la machine et assurant une fonction de protection.
Note 1 : Un protecteur peut exercer son effet :
- *seul : il n'est alors efficace que lorsqu'il est fermé, s'il s'agit d'un protecteur mobile, ou maintenu en place de façon sûre, s'il s'agit d'un protecteur fixe;*
- *associé à un dispositif de verrouillage ou d'interverrouillage; dans ce cas, la protection est assurée quelle que soit la position du protecteur.*

Note 2 : Suivant sa destination, un protecteur peut être appelé carter, blindage, couvercle, écran, porte, enceinte.
Note 3 : Voir l'ISO 12100-2:2003, 5.3.2 et l'ISO 14120 pour les différents types de protecteurs et les exigences qui s'y appliquent.

Protecteur fixe
Protecteur fixé de telle manière (par exemple au moyen de vis ou d'écrous ou par soudage) qu'il ne puisse être ouvert ou démonté qu'à l'aide d'outils ou par destruction des moyens de fixation.

Protecteur mobile
Protecteur pouvant être ouvert sans l'aide d'outils.

Protecteur avec dispositif de verrouillage
Protecteur associé à un dispositif de verrouillage de manière à assurer, avec le système de commande de la machine, les fonctions suivantes :
- les fonctions dangereuses de la machine « couvertes » par le protecteur ne peuvent pas s'accomplir tant que le protecteur n'est pas fermé;
- un ordre d'arrêt est donné si l'on ouvre le protecteur pendant que les fonctions dangereuses de la machine s'accomplissent;
- les fonctions dangereuses de la machine « couvertes » par le protecteur peuvent s'accomplir lorsque le protecteur est fermé, mais la fermeture du protecteur ne provoque pas à elle seule leur mise en marche.

Note : L'ISO 14119 donne des dispositions détaillées.

Protecteur avec dispositif d'interverrouillage
Protecteur associé à un dispositif de verrouillage et à un dispositif de blocage de manière à assurer avec le système de commande de la machine les fonctions suivantes :
- les fonctions dangereuses de la machine « couvertes » par le protecteur ne peuvent pas s'accomplir tant que le protecteur n'est pas fermé et bloqué;
- le protecteur reste bloqué en position de fermeture jusqu'à ce que le risque dû aux fonctions dangereuses de la machine « couvertes » par le protecteur ait disparu;
- quand le protecteur est bloqué en position de fermeture, les fonctions dangereuses « couvertes » par le protecteur peuvent s'accomplir. La fermeture et le blocage du protecteur ne déclenchent pas par eux-mêmes les fonctions dangereuses de la machine.

Note 1 : L'ISO 14119 donne des dispositions détaillées.

Dispositif de protection
Moyen de protection autre qu'un protecteur.

Dispositif de verrouillage
Dispositif mécanique, électrique ou d'une autre technologie, destiné à empêcher certaines fonctions dangereuses de la machine de s'accomplir dans des conditions définies (généralement tant qu'un protecteur n'est pas fermé).

Dispositif de commande bimanuelle
Dispositif qui nécessite au moins l'action simultanée des deux mains pour mettre et maintenir en marche des fonctions dangereuses d'une machine, assurant ainsi la protection de la seule personne qui l'actionne.
Note : L'ISO 13851 donne des dispositions détaillées.

Dispositif de protection optoélectronique actif (AOPD)
Dispositif dont la fonction de détection est assurée par des éléments optoélectroniques émetteurs et récepteurs qui détectent l'interruption, du fait de la présence d'un objet opaque dans la zone de détection spécifiée, de rayonnements optiques générés dans le dispositif.
Note : La CEI 61496-2 donne des dispositions détaillées.

Fonction de sécurité
Fonction d'une machine dont la défaillance peut provoquer un accroissement immédiat du (des) risque(s).

Mise en marche inattendue
Mise en marche intempestive
Toute mise en marche qui, à cause de son caractère inattendu, engendre un phénomène dangereux. Une telle mise en marche peut être causée, par exemple, par :
- un ordre de mise en marche résultant d'une défaillance à l'intérieur du système de commande ou d'une influence extérieure sur ce système;
- un ordre de mise en marche engendré par une action humaine inopportune sur un organe de service de mise en marche ou sur un autre élément de la machine, par exemple sur un capteur ou un préactionneur;
- le rétablissement de l'alimentation en énergie après une interruption;
- des influences externes / internes (par exemple pesanteur, vent, auto-allumage dans les moteurs à combustion interne) s'exerçant sur des éléments de la machine.

Note : La mise en marche automatique d'une machine en fonctionnement normal n'est pas intempestive, mais peut être considérée comme inattendue du point de vue de l'opérateur. Dans ce cas, la prévention des accidents relève de l'application de mesures de protection (voir l'ISO 12100-2:2003, Article 5).

Défaillance dangereuse
Toute défaillance survenant dans une machine ou dans son système d'alimentation en énergie et ayant pour effet d'accroître le risque.

Défaillances de cause commune
Défaillances qui affectent plusieurs entités à partir d'un même événement et qui ne résultent pas les unes des autres.
Note : Les défaillances de cause commune ne doivent pas être confondues avec les défaillances de mode commun.

Défaillances de mode commun
Défaillances de plusieurs entités caractérisées par le même mode de panne.
Note : Il ne faut pas confondre les défaillances de mode commun et les défaillances de cause commune : en effet, les défaillances de mode commun peuvent résulter de différentes causes.

7. ANNEXE C : BIBLIOGRAPHIE

[xx-000000]=cote CSST

Documents relatifs à l'application de la norme ISO 13849-1:1999 (EN 954-1) :

- ISO 13849-1:1999 Sécurité des machines -- Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité -- Partie 1 : Principes généraux de conception (voir aussi EN 954-1) [NO-121022].
- ISO 13849-2:2003 Sécurité des machines -- Parties des systèmes de commande relatifs à la sécurité -- Partie 2 : Validation [NO-121022].
- ISO/TR 13849-100:2000 Sécurité des machines -- Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité -- Partie 100 : Lignes directrices pour l'utilisation et l'application de l'ISO 13849-1 [NO-121020].
- Marsot, J., Klein, R., Pagliero, D. et Dei-Svaldi, D., Sécurité des machines et des équipements de travail. Circuits de commande et de puissance. Principes d'intégration des exigences de sécurité, ED913, INRS, 2003 [MO-128083].
- Catégories pour les parties relatives aux commandes selon la norme EN 954-1. Rapport du BIA 6/97e, 216 p. BIA, Sankt Augustin, traduction anglaise du BIA, 1999 [MO-220243].
- Villard, G., Commentaires sur la norme EN 954, Caisse Nationale suisse d'assurance maladie en cas d'accidents (SUVA), Étude technique, 38 pages, mai 1999.
- Les relais et contacteurs auxiliaires à contacts guidés. Fiche pratique de sécurité ED 013. Institut National de Recherche en Sécurité, T.S. 5-89, p. 355-358. Paris 1989. [AP-026021].

Documents relatifs aux dispositifs de verrouillage et d'interverrouillage et aux dispositifs de protection :

- ISO 13851:2002 Sécurité des machines -- Dispositifs de commande bimanuelle -- Aspects fonctionnels et principes de conception [NO-120829].
- ISO 13856-1:2001 Sécurité des machines -- Dispositifs de protection sensibles à la pression -- Partie 1 : Principes généraux de conception et d'essai des tapis et planchers sensibles à la pression [NO-121017.
- ISO 14119:1998 Sécurité des machines -- Dispositifs de verrouillage associés à des protecteurs -- Principes de conception et de choix [NO-120715].
- ISO 14120:2002 Sécurité des machines -- Protecteurs -- Prescriptions générales pour la conception et la construction des protecteurs fixes et mobiles [NO-121018].
- IEC 61496-1 (2004-02) Sécurité des machines - Équipements de protection électro-sensibles - Partie 1 : Prescriptions générales et essais [NO-000879].
- IEC 61496-2 (1997-11) Sécurité des machines - Équipements de protection électro-sensible - Partie 2 : Prescriptions particulières à un équipement utilisant des dispositifs protecteurs optoélectroniques actifs (AOPD) [NO-121033].
- IEC 61496-3 (2001-02) Sécurité des machines - Équipements de protection électro-sensibles - Partie 3 : Prescriptions particulières pour les équipements utilisant des dispositifs protecteurs optoélectroniques actifs sensibles aux réflexions diffuses (AOPDDR) [NO-121034].

- Guide pour la conception des dispositifs de verrouillage et d'interverrouillage associés à des protecteurs. Institut National de Recherche en Sécurité. ND 1437-112-83. 1983. [RE-005505].
- Interrupteurs de position à manœuvre positive d'ouverture et à action mécanique positive, utilisés pour la protection des personnes, Choix et montage. Institut National de Recherche en Sécurité. Fiche pratique de sécurité ED 015, 4 p., Paris 1998. [MO-124354].
- Mougeot, B., Schutz, D. et Fauconnet, M. Interrupteurs de position électromécaniques à clé, Institut National de Recherche en Sécurité, Cahiers de notes documentaires n° 1902-149, Paris 1992. [RE-005505].
- LAMOUREUX, P. et OTTER, B., Verrou électromécanique avec contrôle intégré de position du pêne, Choix et montage. Institut National de Recherche en Sécurité. Fiche pratique de sécurité ED 039, T.S. 10-92, p. 563-566. Paris 1992. [AP-039338].
- Dispositifs de verrouillage intrinsèquement sûrs pour protecteurs fixe et protecteur mobile actionné occasionnellement, Caisse régionale d'assurance maladie de Bourgogne Franche-Comté, Fiche 91-1, Dijon, 1991. [MO-126514].
- Ciccotelli, J. et Marsot, J., Dispositifs de protection électro-sensibles : Les barrages immatériels, Institut National de Recherche en Sécurité. Fiche Pratique de Sécurité n° 64, 4 p., Travail et Santé, janvier 1997. [AP-260409].
- Marsot, J., Dispositifs de protection électro-sensibles : dispositifs monofaisceau et multifaisceaux (sensibilité supérieure à 40 mm), Travail & sécurité. N° 574, juillet-août 1998, p. 61-64 [AP-126508].
- Dei-Svaldi, D., Installation et mise en service des pare-chocs sensibles à la pression, Institut National de Recherche en Sécurité, Travail et Santé, janvier 1997, p. 34-37, 1997. [AP-054973].
- Marsot, J., Composants de sécurité : détecteurs de position magnétiques à lames souples, Règles d'utilisation pour assurer des fonctions de sécurité, Institut National de Recherche en Sécurité. Fiche Pratique de Sécurité n° 65, 4 p., Travail et Santé, février 1997, [AP-260354].
- Marsot, J., Détecteurs de position magnétiques à lames souples, Institut National de Recherche en Sécurité, Cahiers de notes documentaires n° 163, p. 185-196, Paris, 2e trimestre 1996. [RE-005505].
- Mougeot, B. et Fauconnet, M. Blocs logiques pour commandes bimanuelles, Institut National de Recherche en Sécurité, Cahiers de notes documentaires n° 134, Paris 1989. [RE-005505].
- Mougeot, B. et Fauconnet, M. Contrôleurs de discordance, Bilan d'une évaluation des dispositifs disponibles sur le marché français, Institut National de Recherche en Sécurité, Cahiers de notes documentaires n° 1935-152-93, p. 435-444, 3e trimestre 1993. [RE-005505].
- Marsot, J. et Ciccotelli, J., Contrôleurs de vitesse de rotation, Étude de dispositifs de détection d'arrêt, Institut National de Recherche en Sécurité, Cahiers de Notes documentaires, n° ND 2006-161-95, p. 497-508, 4e trimestre 1995. [RE-005505].
- Marsot, J., Composants de sécurité : les détecteurs de vitesse nulle, Institut National de Recherche en Sécurité, Fiche pratique de sécurité, ED 71, Travail et Sécurité, 09-97, p. 53-56, 1997. [AP-260478].

Documents relatifs à la gestion du risque (appréciation et réduction du risque) :

- ISO 12100-1:2003 Sécurité des machines -- Notions fondamentales, principes généraux de conception -- Partie 1 : Terminologie de base, méthodologie [NO-120663].
- ISO 12100-2:2003 Sécurité des machines -- Notions fondamentales, principes généraux de conception -- Partie 2 : Principes techniques [NO-120777].
- ISO 14121:1999 Sécurité des machines -- Principes pour l'appréciation du risque [NO-120614].
- Lupin, H. J. et Marsot, J., Sécurité des machines et des équipements de travail, Moyens de protection contre les risques mécaniques, Institut National de Recherche en Sécurité. ED 807, 1997. [MO-127648].
- Dispositifs de protection sur les machines : recueil, CSST, DC: 200-1710, [CS-000126].
- British Standard Code of practice for Safety of machinery, British Standard Institution, BS 5304: 1988. [NO-001229].
- Protection from the hazardous motions of machines, Elan Schaltelemente GmbH, Wettenberg (Allemagne), 1997.

8. ANNEXE D : OUTIL DE RECHERCHE DES FABRICANTS DE DISPOSITIFS DE PROTECTION

La recherche de dispositifs de protection peut s'avérer un exercice ardu. Pour aider les concepteurs de machine québécois dans cet exercice, l'IRSST a mis sur pied un outil de recherche. Cet outil de recherche vise à aider les personnes dont le mandat est d'acheter les dispositifs à faire un choix éclairé basé sur l'éventail des modèles et sur leur disponibilité. Le Répertoire devrait aussi offrir un moyen, quoique limité, de mieux connaître les nouveaux dispositifs.

La page d'accueil du Répertoire est accessible à l'adresse URL suivante :

http://www.irsst.qc.ca/fr/ut_dispo__index.htm

On y trouve une description sommaire des deux liens principaux – les onglets « LES FABRICANTS » et « LES DISPOSITIFS » – utilisés pour la recherche de l'information. Il est important de noter que le choix des dispositifs présentés dans le Répertoire ne reflète en aucune façon une quelconque approbation de l'IRSST.

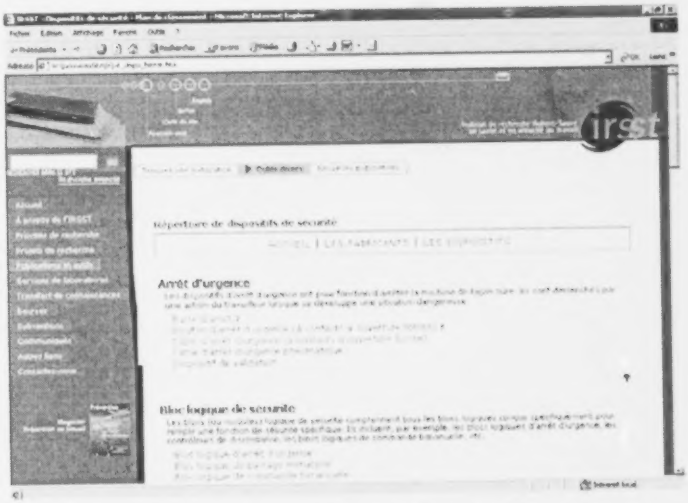


Figure 12 : Outil de recherche des dispositifs de protection

Onglet : Les dispositifs
Le lien intitulé « Les dispositifs » donne accès à la liste des dispositifs de sécurité recensés jusqu'à maintenant. Un classement selon la fonction de sécurité recherchée a été utilisé pour y regrouper l'ensemble des dispositifs. Les interrupteurs de position électromécanique se trouvent, par exemple, sous la rubrique des dispositifs de verrouillage. La liste compte actuellement 61 types de dispositifs, regroupés en 11 sous-ensembles. On peut accéder à de l'information

complémentaire, bien que sommaire, sur le type de dispositif en cliquant sur le lien « ? » situé à la fin de la description. Une fenêtre s'ouvre, dans laquelle on trouve une description du dispositif et dans quelques cas, une photo de celui-ci. À terme, le Répertoire comprendra de l'information sur l'ensemble des dispositifs énumérés. Cela permettra d'identifier de façon plus sûre le type de dispositif choisi.

Lorsqu'on clique sur le nom d'un dispositif, la liste des fabricants qui offrent ce type apparaît. La liste indique l'information usuelle, adresse postale de l'entreprise, numéro de téléphone, etc. et affiche également, si cette information est disponible, les liens menant vers le site Web du fabricant et son adresse de courrier électronique. Pour visiter le site Web, il suffit de cliquer sur le lien. En cliquant sur le nom du fabricant, l'information de correspondance est affichée ainsi qu'une liste des produits de sécurité offerts par l'entreprise, regroupés par fonction.

Figure 13 : Exemple de données fabricant de dispositifs

Onglets : Les fabricants
Le lien intitulé « Les fabricants » présente la liste de tous les fabricants recensés en ordre alphabétique. La liste comporte le nom d'entreprises réparties sur l'ensemble de la planète. En cliquant sur le nom d'un fabricant, on trouve les coordonnées et les produits offerts par l'entreprise. L'utilisateur devra communiquer avec celle-ci afin de déterminer la disponibilité de ses produits en territoire québécois.

L'utilisation du Répertoire devrait rendre plus facile la recherche des dispositifs de protection et aider à mieux connaître leur disponibilité sur le marché québécois. La consultation de cet outil de recherche en développement constant permettra sans doute aux personnes dont l'objectif est d'améliorer la sécurité des travailleurs de découvrir des solutions de réduction du risque qui répondent à des situations particulières et dont les solutions restent pour l'instant difficiles à trouver.